

Tilburg University

Kan de Circulaire Economie een Bijdrage Leveren aan de Energietransitie?

Drissen, E.; Vollebergh, Herman

Publication date:
2018

Document Version
Publisher's PDF, also known as Version of record

[Link to publication in Tilburg University Research Portal](#)

Citation for published version (APA):
Drissen, E., & Vollebergh, H. (2018). *Kan de Circulaire Economie een Bijdrage Leveren aan de Energietransitie?* Planbureau voor de Leefomgeving.

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.



Planbureau voor de Leefomgeving

KAN DE CIRCULAIRE ECONOMIE EEN BIJDRAGE LEVEREN AAN DE ENERGIETRANSITIE?

Eric Drissen en Herman Vollebergh

10 april 2018

PBL

Kan de circulaire economie een bijdrage leveren aan de energietransitie?

© PBL Planbureau voor de Leefomgeving

Den Haag, 2018

PBL-publicatienummer: 3277

Contact

Eric Drissen [eric.drissen@pbl.nl]

Auteurs

Eric Drissen en Herman Vollebergh

Redactie figuren

Beeldredactie PBL

Tekstcorrectie

Uitgeverij PBL

Delen uit deze publicatie mogen worden overgenomen op voorwaarde van bronvermelding: Drissen, E. & H. Vollebergh (2018), *Kan de circulaire economie een bijdrage leveren aan de energietransitie?*, Den Haag: PBL.

Het Planbureau voor de Leefomgeving (PBL) is het nationale instituut voor strategische beleidsanalyses op het gebied van milieu, natuur en ruimte. Het PBL draagt bij aan de kwaliteit van de politiek-bestuurlijke afweging door het verrichten van verkenningen, analyses en evaluaties waarbij een integrale benadering vooropstaat. Het PBL is vóór alles beleidsgericht. Het verricht zijn onderzoek gevraagd en ongevraagd, onafhankelijk en wetenschappelijk gefundeerd.

Inhoud

Samenvatting	4
1 Inleiding	7
2 Circulaire economie en energietransitie	8
2.1 Analyse van de samenhang tussen beleidsopgaven	8
2.2 Uitwerking overlap ambities circulaire economie en Klimaatakkoord	10
3 Fossiel energie-verbruik en broeikas-gasemissies	15
3.1 Fossiel energieverbruik	15
3.2 Broeikasgassen in Nederland	16
3.3 Klimaattafels, fossiele energieverbruik en broeikasgassen	18
4 Overlap ambities circulaire economie en Klimaatakkoord	20
4.1 Verbruik van fossiele energie in sectoren	20
4.2 Emissies van sectoren relevant voor de circulaire economie	24
4.3 Sectoremissies en indirecte ketenemissies	26
4.4 Reductiepotentieel, klimaattafels en transitieagenda's	28
5 Conclusie	32
Literatuur	34

Samenvatting

Deze notitie is een eerste verkenning naar de mogelijke bijdrage van een circulaire economie aan de energietransitie in Nederland, een transitie die is gericht op de in het Klimaatakkoord van Parijs afgesproken doelen. Een circulaire economie beoogt een economie waarin grondstoffen (zoals ijzererts) efficiënter worden ingezet. De ambitie is enerzijds om grondstoffen langer in de keten vast te houden via recycling en hergebruik, en anderzijds om fossiele, kritische en niet-duurzaam geproduceerde grondstoffen te vervangen door duurzaam geproduceerde, hernieuwbare en algemeen beschikbare grondstoffen (substitutie).

Een circulaire economie draagt bij aan vermindering van het grondstoffengebruik in productketens, en dus ook aan de afname in het gebruik van fossiele energiedragers als grondstof (zoals aardolie voor plastic). Een circulaire economie maakt landen daarmee ook minder afhankelijk van de import van grondstoffen. Dat geldt ook voor kritische grondstoffen, die van belang zijn voor de Nederlandse economie, maar waarvan de beschikbaarheid in de toekomst onzeker is (zoals zeldzame aardmetalen, waarvan het overgrote deel in China wordt gewonnen).

Daarnaast draagt een circulaire economie bij aan het verminderen van de uitstoot van schadelijke stoffen, en dus ook aan de vermindering van de milieudruk. Zo zal er in een circulaire economie in de regel minder energie worden gebruikt, waardoor langs deze weg de milieudruk kan afnemen. Het winnen van primaire grondstoffen en het maken van nieuwe materialen en productonderdelen kosten namelijk meestal meer energie dan recycling en hergebruik van materialen en producten. Zolang deze energie nog vooral afkomstig is van fossiele brandstoffen, is de uitstoot van broeikasgassen groter dan in een circulaire economie, waar het energieverbruik voor het maken van materialen en producten lager is.

Ook is er een potentiële winst te behalen met het vervangen (substitueren) van fossiele grondstoffen als daarmee tegelijk schoner kan worden geproduceerd, zoals bij elektrolyse op basis van duurzaam opgewekte elektriciteit of het gebruik van biomassa in grote houtketels. Een circulaire economie kan zodoende dus de uitstoot verminderen naast een geringere winning van primaire grondstoffen en afval aan het einde van productie- en consumptieketens.

Circulaire economie in relatie tot de energietransitie

Zowel door recycling en hergebruik van grondstoffen, materialen en producten als door vervanging van fossiele door niet-fossiele grondstoffen draagt de circulaire economie dus bij aan de vermindering van de emissies van broeikasgassen. Hierdoor komen de klimaatdoelen uit het Akkoord van Parijs dichterbij. Hier vertoont de circulaire economie dus een overlap met de energietransitie, want die transitie is er ook op gericht om de broeikasgasemissies te reduceren, en net als in de energietransitie speelt in de circulaire economie het terugdringen van het gebruik van fossiele energiedragers een belangrijke rol. In een circulaire economie is echter meer oog voor de *hele keten* van het economische proces, dat wil zeggen van de winning van grondstoffen via de productie van materialen, halffabricaten en de productie en consumptie van eindproducten tot de afvalfase. Waar de energietransitie vooral is gericht op de reductie van directe emissies uit verbranding van bestaande productie- en consumptieprocessen in Nederland ('meten bij de schoorsteen'), komen door de ketenbenadering in de circulaire economie daarenboven de *indirecte* emissies van broeikasgassen en andere milieubelastende stoffen hier en elders in beeld, zoals de 'uitgestelde' broeikasemissies van plastics bij afvalverbranding en de ophoping van plastic deeltjes in oceanen ('plastic soep'). In vergelijking met 'meten bij de schoorsteen' geeft de ketenbenadering dus ook zicht op broeikasgasemissies eerder of later in de keten, en levert daarmee een belangrijke, aanvullende bijdrage aan de energietransitie.

De bijdrage die de circulaire economie aan de energietransitie kan leveren, heeft met name betrekking op de uitstoot van broeikasgassen als gevolg van de inzet van fossiele energie voor zowel verbranding als grondstof. Concreet gaat het dan over de grondstofwinning, de basisindustrie (papier, basischemie, kunstmest, basismetaleen, bouwmaterialen), de verwerkende industrie exclusief de voedingsmiddelenindustrie, de bouwnijverheid en de afvalverwerking. In deze notitie is naast een inschatting van de directe emissies en het energieverbruik ook een berekening gemaakt van de emissies van elektriciteit en raffinageproducten die in de materiaal- en productketen worden gebruikt. Hierdoor kan ook het aandeel worden ingeschat van de broeikasgasemissies die *indirect* zijn gerelateerd aan activiteiten in de materiaal- en productketen. Emissies als gevolg van elektriciteitsproductie en raffinage betreffen echter maar een deel van de indirecte emissies buiten de keten. Daarom zijn ook alle broeikasgasemissies die *buiten* de materiaal- en productketen ontstaan ten behoeve van activiteiten *binnen* die keten, indicatief berekend. Voor alle cijfers geldt dat het gaat om een eerste, ruwe inschatting.

Bevindingen

Op basis van de hiervoor beschreven benadering betreft de overlap tussen de circulaire economie en de energietransitie ruim 30 procent van het *verbruik van fossiele energiedragers* (zowel bij verbranding als bij grondstofverbruik) (zie tabel 1). Als ook rekening wordt gehouden met het verbruik van elektriciteit voor het maken van materialen, halffabricaten en eindproducten en met de verliezen die optreden bij de daarvoor gebruikte raffinageproducten, loopt de overlap op tot ongeveer 40 procent van het fossiele energieverbruik. Van de *totale emissie van broeikasgassen* in 2015 in Nederland gaat het om een aandeel van 19 procent van de directe emissies. Dat aandeel is 28 procent wanneer ook rekening wordt gehouden met de indirecte emissies die samenhangen met het verbruik van elektriciteit en benodigde raffinageproducten. Als ook nog emissies worden meegenomen van eerder of later in de keten dan wel in andere sectoren, neemt de overlap verder toe. Daarbij moet wel worden aangetekend dat het terugdringen van de indirecte emissies in het buitenland beleidsmatig niet wordt beloond. Inclusief de buitenlandse emissies, gaat het dan om een emissieomvang van 55 tot 77 procent van de Nederlandse emissie van broeikasgassen.

Tabel 1

Aandeel energieverbruik en emissie van broeikasgassen waarop zowel de circulaire economie als het Klimaatakkoord is gericht

	Broeikasgassen	Fossiele energieverbruik
Direct	19	31
Direct plus indirect elektriciteit en raffinage	28	40
Direct plus eerder in keten in Nederland	24 - 30	
Direct plus eerder in keten binnen en buiten NL	55 - 77	

Deze overlap in broeikasgasemissies en energieverbruik geeft aan waar en hoeveel de circulaire economie in beginsel kan bijdragen aan de klimaatopgave. Beleid dat beoogt de circulaire economie te bevorderen, kan echter niet *alle* broeikasgasemissies reduceren die binnen de overlap vallen. Recycling en hergebruik kunnen bijvoorbeeld niet alle primaire grondstoffen vervangen, omdat specifieke en hoogwaardige materialen alleen met behulp van primaire grondstoffen kunnen worden gemaakt. Om dan toch meer 'circulair' te worden, zal moeten worden overgestapt op andere grondstoffen die *wél* kunnen worden hergebruikt zonder kwaliteitsverlies, al zal ook voor de productie van materialen met behulp van die andere grondstoffen nog energie nodig zijn. Zodoende is in het kader van de circulaire economie ook de keuze voor energievormen in het productieproces die duurzamer zijn (zoals elektrificatie van het productieproces) van belang voor de energietransitie. In hoeverre de

dan benodigde elektriciteit duurzaam wordt aangeboden, valt echter weer buiten de reikwijdte van de circulaire economie. Dit laat zien dat een goed samenspel van de circulaire economie en de energietransitie nodig is.

Concrete maatregelen en instrumenten vallen buiten de scope van deze studie

Voor deze notitie hebben we geen concrete maatregelen verkend die binnen de circulaire economie kunnen worden genomen om ook de klimaatdoelen dichterbij te brengen. Evenmin hebben we aandacht besteed aan de beleidsinstrumenten die het nemen van deze maatregelen stimuleren of verplichten. Zonder instrumentering valt niet te verwachten dat eventuele maatregelen ook daadwerkelijk zullen worden toegepast. In dit kader is het van belang vast te stellen dat de voor de circulaire economie relevante fossiele energiedragers zeker ten dele dezelfde zijn als de fossiele energiedragers die vanuit de energietransitie moeten bijdragen aan de reductie van de broeikasgasemissies. Dit is bijvoorbeeld het geval bij de bedrijven die onder het Europese emissiehandelssysteem vallen en waar die fossiele energiedragers directe broeikasgasemissies veroorzaken. Tegelijkertijd valt momenteel ook bijna de helft van het verbruik van fossiele energiedragers in Nederland – vooral het niet-energetische verbruik – buiten het huidige energie- en klimaatbeleid (zie ook Vollebergh et al. 2017). Hierdoor blijven mogelijk belangrijke procesgeïntegreerde of ketenopties voor de reductie van broeikasgassen buiten beeld, zoals het gebruik van elektrolyse om waterstof te maken ten behoeve van de basischemie of alternatieve processen voor betonproductie. Evenmin is hier naar de kosten van dergelijke alternatieven gekeken.

Tot slot is in deze notitie ook voorbijgegaan aan diverse terugkoppelingen en mogelijk averechtse effecten van de circulaire economie op de klimaatopgave en vice versa. Zo kan hergebruik leiden tot uitstel van grootschalig gebruik van energie-efficiëntere apparaten (van in productieprocessen gebruikte apparaten zoals ketels tot consumptief gebruikte apparaten zoals wasmachines). Zo ook kan de vervanging van fossiele energie door specifieke vormen van hernieuwbare energie leiden tot meer luchtvervuiling (biomassa) of een verschuiving in de vraag naar materialen (voor bijvoorbeeld windmolens en batterijen). Het coördineren van beide beleidsdomeinen met elkaar en met andere beleidsdossiers, zoals luchtkwaliteit, moet averechtse effecten helpen voorkomen. Tot slot beperken we ons tot de materiaal- en productketen van grondstoffen en gaan we voorbij aan de bijdrage die een meer circulaire voedselketen zou kunnen leveren aan de energietransitie. Om deze reden is ook de voedingsmiddelenindustrie niet meegenomen in de overlap, aangezien deze onderdeel is van de voedselketen.

1 Inleiding

Het mondiale Klimaatakkoord dat eind 2015 in Parijs werd gesloten, vraagt van de deelnemende lidstaten een forse reductie van de emissie van broeikasgassen. Om daaraan te kunnen voldoen, heeft het Nederlandse kabinet zich ten doel gesteld om de emissie in 2030 met 49 procent te reduceren ten opzichte van 1990. Het beleid dat daarvoor dient te worden ingezet, wordt vastgelegd in het nationale Klimaatakkoord. Tegelijkertijd is er de ambitie van het Rijksbrede programma Circulaire Economie om efficiënter om te gaan met grondstoffen. Een circulaire economie draagt primair bij aan vermindering van het grondstoffengebruik, waardoor landen minder afhankelijk worden van de import van grondstoffen. In een meer circulaire economie is in de regel ook minder energie nodig, omdat er minder grondstoffen gewonnen hoeven worden, er minder materialen en eindproducten worden gemaakt en het maken van materialen en productonderdelen met behulp van recycling en hergebruik meestal minder energie vergt dan het produceren met primaire grondstoffen. Een meer circulaire economie zorgt daarmee ook voor zowel minder afval als minder emissies van schadelijke stoffen naar bodem, lucht en water.

Doordat een meer circulaire economie in potentie ook leidt tot minder emissies van broeikasgassen, is er dus samenhang tussen beide maatschappelijke ambities en de daarvoor benodigde transitie. Deze samenhang betekent dat de ene ambitie in potentie kan bijdragen aan de realisatie van de andere ambitie. Zo kan een deel van de broeikasgassen worden gereduceerd door de economie meer circulair te maken. In deze notitie brengen we in beeld waar de ambitie van de circulaire economie in Nederland een overlap heeft met de energietransitie die nodig is om het Klimaatakkoord van Parijs te laten slagen. We laten zien dat de kern van deze overlap bestaat uit het verbruik van fossiele energiedragers in zowel het energiesysteem als in het verbruik ervan als grondstof. Aangegeven wordt om welk deel van het fossiele energieverbruik het gaat, en welk deel van de totale broeikasgasemissies.

De notitie is als volgt opgebouwd. In het volgende hoofdstuk verkennen we kort, in algemene zin waar precies de overlap ('complementariteit') kan worden verwacht tussen de ambities van de circulaire economie en het Klimaatakkoord, en waar niet. Vervolgens schetsen we in hoofdstuk 3 de verdeling van het verbruik van fossiele energiedragers in de verschillende sectoren en de daarmee samenhangende broeikasgasemissies in Nederland. Zodoende wordt inzichtelijk welk energieverbruik precies bij welke tafel van het Klimaatakkoord aan bod is, en wat hiervan de potentiële overlap is met het verbruik van grondstoffen in het kader van de circulaire economie. Daarna verkennen we in hoofdstuk 4 de potentiële bijdrage van de circulaire economie aan de klimaatopgave door na te gaan waar in potentie welke broeikasgasemissies kunnen worden verminderd door mogelijke maatregelen in het kader van de transitie naar een circulaire economie en de door de overheid opgezette transitieagenda's. Hoofdstuk 5, tot slot, bevat de conclusies.

2 Circulaire economie en energietransitie

Hoe en waar de circulaire economie een overlap heeft met de klimaatopgave is niet onmiddellijk duidelijk. Een circulaire economie gaat in de eerste plaats om de rol van grondstoffen en materialen in de economie en de daarmee samenhangende problemen, terwijl de energietransitie vooral betrekking heeft op de reductie van broeikasgassen. Uitgaande van beide ambities beredeneren we in dit hoofdstuk waar precies de overlap ('complementariteit') kan worden verwacht en hoe de circulaire economie binnen dat overlappende gebied kan bijdragen aan de reductie van broeikasgassen.

2.1 Analyse van de samenhang tussen beleidsopgaven

De huidige beleidsambities rond de circulaire economie (CE) en de energietransitie kunnen in de kern als volgt worden samengevat. Voor de CE-ambitie zijn twee hoofdredenen.¹ De eerste heeft betrekking op de strategische problematiek rond grondstoffengebruik. Uitputting van grondstoffen is vooral relevant in het kader van mondiale markten en eenzijdige toegang van landen tot de beschikbaarheid daarvan. De discussie rond de zogenoemde kritische materialen is in de eerste plaats gekoppeld aan deze hoofdredenen. De tweede hoofdreden is de discussie over het verlagen van de milieudruk 'in de keten' (Vollebergh et al. 2017). Door minder grondstofverbruik is er minder milieudruk in de productketen, van grondstofwinning tot en met afvalverwerking, zowel hier als elders. Hierdoor verminderen milieuschadelijke emissies en zal er minder afval ontstaan. De eerste hoofdreden komt in het vervolg verder niet aan bod.

Een meer circulaire economie kan worden bereikt langs twee wegen:

1. Grondstoffen zouden langer in de keten moeten worden vastgehouden via *recycling en hergebruik*, waardoor er minder nieuwe grondstoffen en materialen nodig zijn en er tevens minder afval wordt geproduceerd. Minder gebruik van grondstoffen en materialen reduceert emissies langs twee wegen: direct door een geringere winning van grondstoffen en minder productie van materialen, en indirect omdat bij recycling van materialen minder energie nodig is dan bij de verwerking van primaire grondstoffen tot materialen.
2. *Vervanging ('substitutie')* van fossiele, kritische en niet-duurzaam geproduceerde grondstoffen door duurzaam geproduceerde, hernieuwbare en algemeen beschikbare grondstoffen. Van deze meer duurzame alternatieven is de verwachting dat er minder schadelijke grondstofstromen mee gemoeid zijn, zoals bij de inzet van biomassa voor het maken van bioplastic.

In het Rijksbrede programma Circulaire Economie (Ministeries van IenM & EZ 2016) is afgesproken om in 2030 het gebruik van primaire grondstoffen (metalen, mineralen en fossiel) te reduceren met 50 procent. De ambitie is om in 2050 helemaal circulair te zijn. Dat betekent dus dat er ook geen fossiele energiedragers zouden kunnen worden ingezet als grondstof. Met het Rijksbrede programma richt de overheid zich op het realiseren van deze

¹ Zie Ministerie van Infrastructuur en Milieu en Ministerie van Economische Zaken (2016), *Nederland Circulair in 2050. Rijksbreed programma Circulaire Economie*, <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/rapporten/2016/09/14/bijlage-1-nederland-circulair-in-2050>, Den Haag.

ambitie (Potting et al. 2016). Meer dan 300 maatschappelijke partijen hebben de ambities uit dit programma inmiddels onderschreven in het Grondstoffenakkoord (2017). Om die ambitie dichterbij te brengen, hebben de ondertekenaars van het Grondstoffenakkoord vijf zogenoemde transitieagenda's opgesteld. Betrokken partijen hierin zijn bedrijven, kennisinstellingen, overheden en niet-gouvernementele organisaties (ngo's). Het kabinet-Rutte III committeert zich in het Regeerakkoord 2017 aan de ambitie voor een circulaire economie en de transitieagenda's. Daarbij legt het kabinet nadrukkelijk een verband tussen circulaire economie en klimaatbeleid. Concreet wil het kabinet aan het einde van de regeerperiode één megaton CO₂ hebben bespaard door recycling bij de industrie (Regeerakkoord 2017).

Naast deze ambities op het terrein van de circulaire economie is er, mede in het kader van afspraken binnen de Europese Unie, een kwantitatieve klimaatopgave voor Nederland, dat wil zeggen expliciete afspraken over reductieambities van broeikasgassen, waarvan CO₂ en methaan (CH₄) de belangrijkste zijn. Afgesproken is om de broeikasgasemissie in Nederland per 2020 te reduceren met 20 procent ten opzichte van 1990 en de CO₂-emissie in 2030 met 49 procent te reduceren ten opzichte van 1990. Het huidige kabinet spreekt de ambitie uit om in Europa het voortouw te nemen om deze reductie verder te vergroten tot 55 procent, waarbij samenwerking wordt gezocht met gelijkgezinde Noordwest-Europese landen (zie Ministerie van EZK 2018). Deze ambities liggen nu op tafel voor het nieuwe Klimaatakkoord. De invulling van de ambities om broeikasgassen te reduceren verloopt via de inzet van koolstofopvang en -opslag, waarmee directe broeikasgasemissies worden verminderd ('end-of-pipe'), via het terugdringen van de verbranding van (fossiele) energie, in het bijzonder via vergroening van de elektriciteitsopwekking. Maar ook via een versterkte inzet van hernieuwbare energiebronnen in het energiesysteem en tot slot via de mogelijkheid om het verbruik van fossiele energiedragers als grondstof te verminderen wanneer dit gebruik later in de keten leidt tot relevante emissies, zoals bij de productie en het gebruik van kunstmest alsmede bij afvalverbranding.

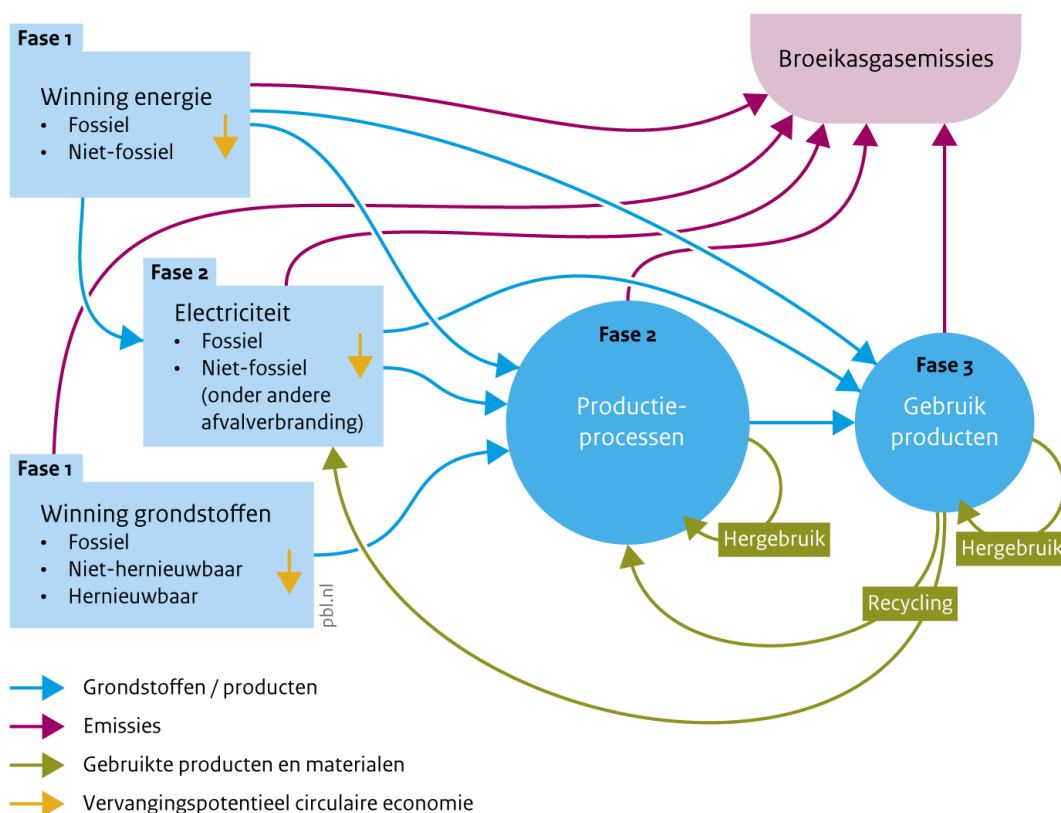
Er is dus een duidelijke parallel te ontwaren in beide ambities. Zowel door recycling en hergebruik van grondstoffen als door vervanging van fossiele door niet-fossiele grondstoffen kan de circulaire economie bijdragen aan de vermindering van broeikasgasemissies en komen de klimaatdoelen dichterbij. Hier vertoont de circulaire economie dus een overlap met de energietransitie, want de energietransitie is er ook op gericht om de broeikasgassen te reduceren en ook bij de energietransitie speelt het terugdringen van het gebruik van fossiele energiedragers een belangrijke rol. De circulaire economie heeft daarbij echter meer oog voor de hele keten van het economische proces, dat wil zeggen van winning van grondstoffen via de productie van materialen, halffabricaten en de productie en consumptie van eindproducten tot de afvalfase. Waar de energietransitie vooral is gericht op de reductie van directe emissies uit verbranding van bestaande productie- en consumptieprocessen in Nederland ('meten bij de schoorsteen'), komen door de ketenbenadering in de circulaire economie daarenboven de indirecte emissies van broeikasgassen en andere milieubelastende stoffen hier en elders in beeld, zoals de 'uitgestelde' broeikasgasemissies van plastics bij afvalverbranding en de ophoping van plastic deeltjes in oceanen ('plastic soep'). In vergelijking met 'meten bij de schoorsteen' geeft de ketenbenadering dus ook zicht op broeikasgasemissies eerder of later in de keten, en levert daarmee een belangrijke, aanvullende bijdrage aan de energietransitie.

De overlap is samengevat en beschreven in figuur 2.1. De figuur toont een stroomdiagram van de keten van de winning van energie, fossiel en niet-fossiel, en grondstoffen, fossiel maar ook andere grondstoffen, via bewerking in productieprocessen en het gebruik van producten tot aan de afvalfase. Hieruit blijkt duidelijk waar en welke rol vooral fossiele energiedragers spelen en hoe het verbruik van deze energiedragers is gerelateerd aan broeikasgassen én grondstoffenverbruik. In allerlei productieprocessen (de blauwe ronde cirkel) wordt namelijk energie samen met grondstoffen omgezet in enerzijds producten waarin een potentieel broeikasgas is opgeslagen (zoals raffinageproducten, CO₂ in plastic

producten, vervoermiddelen of zelfs gebouwen), en anderzijds directe broeikasgasemissies. Het gebruik van producten leidt zelf natuurlijk ook tot emissies, zoals bij auto's of het verwarmen van gebouwen. Tot slot eindigen deze producten, al dan niet na een aantal keren van recycling en hergebruik, in afval waarbij via de verwerking eveneens broeikasgassen vrijkomen (bijvoorbeeld de eerder in plastic opgeslagen CO₂), maar tegelijk ook elektriciteit wordt geproduceerd (afvalverwerking is daarmee impliciet opgenomen onder 'Elektriciteit'). Aan de grondstoffenkant is overigens van belang dat het in de praktijk gaat om een veelheid aan grondstoffen – naast fossiele energiedragers ook veel andere, zoals mineralen en metalen – welke nu vaak in samenhang met de verbranding van fossiele energie worden omgezet in allerlei materialen, halffabricaten en eindproducten (zie ook Vollebergh et al. 2017).

Figuur 2.1

De keten van energie, grondstoffen, materialen en producten



Bron: PBL

2.2 Uitwerking overlap ambities circulaire economie en Klimaatakkoord

Uit voorgaande algemene analyse blijkt dat de ambitie om de economie meer circulair te maken tevens een bijdrage kan leveren aan de reductieopgave van broeikasgasemissies uit het Klimaatakkoord. Zoals gezegd, is deze bijdrage in de kern toe te schrijven aan het gebruik van fossiele energiedragers die zowel een rol spelen bij verbranding als een sleutelrol vervullen als grondstof in de productie van een groot aantal materialen en halffabricaten (basischemie, raffinage, kunstmest) en eindproducten. De centrale positie van fossiele energiedragers biedt mogelijkheden voor het bereiken van zowel de ambities van het

Klimaatakkoord als die van de circulaire economie (win-win of 'co-benefits'). In dat geval leidt implementatie van beleid in het ene domein tegelijk tot het dichterbij brengen van de ambities in het andere domein.

In deze verkennende notitie gaan we niet in op concrete maatregelen om de circulaire economie dichterbij te brengen die tegelijk ook bijdragen aan het Klimaatakkoord. Evenmin besteden we aandacht aan de beleidsinstrumenten die het nemen van deze maatregelen stimuleren of verplichten. Wél geven we aan waar in het economische proces de overlap is te vinden tussen de ambities van de circulaire economie en het Klimaatakkoord en hoe groot deze overlap is. Voor het bepalen van deze overlap is gebruikgemaakt van een eerdere studie naar aangrijpingspunten in de materiaal- en productketen voor CE-beleid (zie Vollebergh et al. 2017). Als criterium is in deze studie gekozen voor de milieudruk, waaronder de emissie van broeikasgassen. Hiermee sluiten we dus aan bij het idee om door middel van de circulaire economie de milieudruk te verlagen (zie paragraaf 2.1).²

Om vast te stellen waar in de productie- en consumptieketen het dan het meest voor de hand ligt om CE-beleid te voeren, zijn in deze studie de voor een circulaire economie meest relevante grondstofketens opgesplitst in een aantal fasen (Vollebergh et al. 2017). Deze fasen zijn ook te herkennen in figuur 2.1, zij het dat daar alleen het subsysteem is weergegeven van de verwerking van grondstoffen en materialen en de relatie daarvan met broeikasgasemissies. Grofweg gaat het om vier fasen. De grondstoffenfase (fase 1) betreft de winning van grondstoffen, waaronder dus ook de land- en bosbouw voor zover daar hernieuwbare grondstof vandaan komt. In de fase waarin materialen en halffabricaten worden gemaakt, gaat het om de basisindustrie, die bestaat uit de basischemie, de kunstmestindustrie, de basismetaleen, de bouwmaterialenindustrie (waaronder betonproductie) en de papierindustrie, maar ook om het maken van eindproducten (fase 2 – 'productieprocessen'). Vervolgens is er een fase waarin consumenten en bedrijven de eindproducten aanschaffen en gebruiken (fase 3 – 'gebruik producten'). Tot slot is er de afvalfase (fase 4 – hier alleen weergegeven voor zover deze bijdraagt aan broeikasgasemissies via productie van elektriciteit). Het gaat hier om de verbranding van afval in afvalverbrandingsinstallaties (AVI's) en het winnen van stortgas. In elke fase komen dus in meerdere of mindere mate broeikasgasemissies vrij.

Om beter vast te kunnen stellen waar de mogelijke overlap tussen de circulaire economie en de energietransitie zit, ligt het voor de hand om uit te gaan van de eerder genoemde twee hoofdlijnen van het CE-beleid. Allereerst is dat dus het langer in de keten houden van grondstoffen, materialen en (half-)fabricaten via *recycling en hergebruik*. In figuur 2.1 is dat aangeduid met groene pijlen. Door recycling en hergebruik kunnen 'opgeslagen' fossiele energiedragers (koolstof vooral) langer in de keten worden gehouden, waardoor ook minder emissies bij de afvalverwerking vrijkomen. Emissies worden als het ware uitgesteld. De hoofdreden waarom dit tot een besparing op broeikasgasemissies leidt, is dat bij bestaande recyclingprocessen doorgaans minder energie nodig is dan bij de verwerking van primaire grondstoffen.

Zo blijkt uit Vollebergh et al. (2017: 72) dat voor een aantal materialen veel minder energie nodig is voor het maken van secundaire materialen dan voor het maken van primaire materialen. Voor alle materialen geldt dat de productie van secundaire materialen minder energie vergt dan die van primaire materialen. Vooral bij metalen (platina, aluminium en staal) is er veel energiewinst te behalen (72 tot 95 procent), maar ook bij cement (tot 70 procent energiewinst) en kunststoffen (64 tot 81 procent energiewinst). Bij de productie van koper en roestvrij staal is de energiewinst het kleinst (12-17 procent). Voor papier, beton en glas (respectievelijk 31, 38 en 45 procent) zijn de voordelen minder, maar nog steeds

² De reden hiervoor was dat in Vollebergh et al. (2017) vooral is gezien in hoeverre grondstoffen ook zouden kunnen worden gebruikt als belastinggrondslag. In dat kader zijn alleen grote grondstofstromen met de daaraan gekoppelde milieudruk relevant. Om die reden zijn de productie in de landbouwsector en de broeikasgasemissies in relatie tot de voedselketen niet meegenomen.

substantieel. Hierbij moet wel worden opgemerkt dat bestaande recyclingpercentages voor een aantal materialen al in de buurt liggen van het maximaal haalbare percentage bij de bestaande inzamelstructuur. Hogere percentages zijn dan niet eenvoudig haalbaar, zeker niet voor secundaire materialen van vergelijkbare kwaliteit. Ook zijn er grote verschillen tussen materialen. Bovendien is van belang dat daar waar de energiebesparing groot lijkt, ook al een groter percentage recycling wordt gerealiseerd. Duidelijk is dat de percentages voor energie- en CO₂-besparing sterk correleren. Op dit moment zijn soortgelijke gegevens voor hergebruik (nog) niet beschikbaar.

De tweede weg waarlangs een circulaire economie kan bijdragen aan minder broeikasgasemissies is het *vervangen* (substitutie) van fossiele grondstoffen door duurzaam geproduceerde grondstoffen. Dit is in figuur 2.1 weergegeven met gele pijlen. Het gaat hierbij om bijvoorbeeld een overgang van de opwekking van elektriciteit uit fossiele energie naar niet-fossiele energiebronnen, of van fossiele naar hernieuwbare grondstoffen. Ook is er de mogelijkheid om de productieprocessen zelf aan te passen en minder koolstofintensief te maken. Dat geldt bijvoorbeeld voor procesgeïntegreerde oplossingen in de industrie, zoals elektrolyse waarbij een fossiele grondstof (aardgas) wordt vervangen door de hernieuwbare grondstof water en een op zichzelf schone energiebron elektriciteit. Naarmate het aandeel niet-fossiele opwekking hiervan groter is, neemt ook de reductie van broeikasgassen toe. Dergelijke procesgeïntegreerde oplossingen hebben een groot potentieel (zie Strengers et al. 2018) en brengen zowel de ambities van de circulaire economie als die van de energietransitie dichterbij.

Zoals eerder aangegeven, analyseren we in deze notitie geen specifieke circulaire maatregelen (handelingsopties) die leiden tot een reductie van broeikasgassen in de verschillende sectoren, en die daardoor ook bijdragen aan het realiseren van de doelstellingen van het Klimaatakkoord. Op basis van het voorgaande is als ruwe eerste benadering in deze notitie gekozen om op basis van drie indicatoren de overlap tussen de ambities van de circulaire economie en het Klimaatakkoord te bepalen:

- Allereerst zijn dat de *directe* broeikasgasemissies binnen die sectoren die zich in beginsel goed lenen voor (meer) recycling. Bij deze productieprocessen worden immers fossiele energiedragers ingezet voor verbranding of kracht (al dan niet met warmte-krachtkoppeling) waarop kan worden bespaard door minder gebruik te maken van primaire (niet-fossiele) grondstoffen.
- Van belang zijn verder *indirecte* broeikasgasemissies, vooral als gevolg van verbruik van raffinageproducten of elektriciteit in andere sectoren. In feite gaat het dan om een deel van de ketenemissies, waarbij productieprocessen soms ook samenhangen.
- De derde indicator is het directe verbruik van fossiele energiedragers binnen sectoren als *grondstof*. Het gaat dan om het deel dat momenteel niet wordt verbrand, maar dual dan wel als *feedstock* in productieprocessen wordt gebruikt. De sectoren waar dat aandeel groot is, hebben een groot aandeel in de niet-energetische milieuschade (zie Vollebergh et al. 2017: 98). Ook hier blijkt het vooral te gaan om sectoren in de industrie.

In het vervolg van deze notitie onderzoeken we op basis van de hiervoor uiteengezette hoofdlijnen en indicatoren in welke sectoren van de Nederlandse economie de ambities van de circulaire economie en het Klimaatakkoord elkaar overlappen en de circulaire economie kan bijdragen aan de reductie van broeikasgassen. Omdat het uiteindelijk vooral gaat om broeikasgasemissies als gevolg van het verbruik van fossiele energiedragers in de keten van grondstof tot afval, ligt het voor de hand om allereerst na te gaan waar dat verbruik het grootst is en wat de relatie daarvan is met de emissie van broeikasgassen. Daarbij gaat het dus niet alleen om de emissies die direct of indirect vrijkomen bij verbrandingsprocessen bij de productie, bij de raffinage van de daarbij gebruikte raffinageproducten of bij de opwekking van de gebruikte elektriciteit, maar ook om de potentiële emissies van

broeikasgassen die vaak tijdelijk worden 'opgeslagen' in de vorm van *feedstocks* en pas veel later in de keten vrijkomen.

Vergelijking met TNO-studie naar de reductie van broeikasgassen door het Rijksbrede programma Circulaire Economie en de transitieagenda's

Op verzoek van het ministerie van IenW heeft TNO onderzocht wat de potentiële effecten zijn van het ingezette beleid gericht op een circulaire economie op de reductie van broeikasgassen (zie Rietveld et al. 2018). In het TNO-rapport is dit onderzocht door na te gaan wat de bijdrage aan de klimaatopgave is van de kwantitatieve doelen uit het Rijksbrede programma Circulaire Economie en van de transitieagenda's. Dit zijn CE-doelen (zoals percentages recycling of percentages afvalreductie) en géén doelen met betrekking tot de emissie van broeikasgassen. Rietveld et al. gaan ervan uit dat de gestelde kwantitatieve doelen in het Rijksbrede programma en de transitieagenda's worden gehaald en dat de kwantitatieve doelen niet door overig vastgesteld of voorgenomen beleid worden gerealiseerd. Het gaat daarbij om de afgeleide kwantitatieve doelen uit de ex ante evaluatie (Rietveld et al. 2018). De studie gaat echter niet in op de vraag hoe deze doelen kunnen worden bereikt door met behulp van interventies specifieke maatregelen te realiseren.

Om de effecten van de kwantitatieve doelen te kunnen bepalen, is gebruikgemaakt van een algemeen-evenwichtsmodel, waardoor naast directe effecten ook indirecte effecten in de economie worden meegenomen. Hierdoor worden ook de verwachte *rebound*-effecten in beeld gebracht, namelijk het afnemen van de vraag als gevolg van het efficiënter omgaan met natuurlijke hulpbronnen – waardoor de productie en het gebruik van goederen en diensten weer goedkoper worden. Om de toekomstige effecten te bepalen, is gebruikgemaakt van de WLO-scenario's Laag en Hoog. De voorlopige resultaten van de TNO-studie ondersteunen het beeld dat door in te zetten op een circulaire economie, een significante bijdrage aan het oplossen van het klimaatprobleem kan worden geleverd. De meerwaarde van de TNO-studie is dat een raming is gegeven van het additionele effect van CE-beleid op de emissie van broeikasgassen.

Op basis van CBS-energiebalansen is in het vervolg in kaart gebracht in welke sectoren het verbruik van fossiele energiedragers precies is gelokaliseerd. Daarbij kijken we dus verder dan alleen naar de verbranding van fossiele energiedragers en hebben we juist ook het gebruik van fossiele energiedragers als grondstof meegenomen. Op die manier wordt inzichtelijk in welke sectoren de grootste potentiële bijdrage kan worden verwacht van veranderingen in bestaande productieprocessen. Ook wordt daarbij rekening gehouden met energieverliezen bij omzettingsprocessen, zoals bij de elektriciteitsproductie. Bovendien houden we rekening met de indirecte emissies die kunnen worden toegeschreven aan sectoren die weer gebruikmaken van (fossiele) energie uit andere sectoren, zoals raffinage en elektriciteit, hetgeen vooral van belang is bij potentiële verbeteringen in de keten via procesgeïntegreerde oplossingen of aanpassingen in de keten. Naast het verbruik van fossiele energiedragers is bovendien op basis van de gegevens van de Emissieregistratie nagegaan welke omvang de emissie van broeikasgassen heeft in de voor de circulaire economie relevante sectoren. Tot slot zijn nog op grond van een input-outputmodel mogelijk relevante ketenemissies van deze sectoren geïnventariseerd.

Vanzelfsprekend gaat het – bij de op deze wijze benaderde overlap tussen de ambities van de circulaire economie en de energietransitie – om een zeer ruwe schatting. Er is immers niet specifiek naar maatregelen zelf gekeken. Zodoende blijven belangrijke beperkingen buiten beeld, zoals het probleem dat bij recycling tal van functies niet kunnen worden vervuld met secundair materiaal, of het feit dat er weinig ruimte is voor verdere verbetering als er in een sector al veel gerecycled wordt (denk aan de aluminiumindustrie). Tegelijkertijd komt op deze wijze wel in beeld waar eventueel ruimte zit voor een meer integrale benadering die door de keten heen kan leiden tot forse reducties van broeikasgasemissies, zoals in de chemie of de betonverwerking (zie ook paragraaf 4.5).

Tot slot is het nog van belang te wijzen op een belangrijke beperking van deze analyse van de overlap. In deze notitie beperken we ons, net als Vollebergh et al. (2017), tot de materiaal- en productketen van grondstoffen en materialen. Daarmee gaan we voorbij aan de bijdrage die een meer circulaire voedselketen zou kunnen leveren aan de energietransitie. Om deze reden is ook de voedingsmiddelenindustrie niet meegenomen in de overlap, aangezien deze onderdeel is van de voedselketen.

3 Fossiel energie- verbruik en broeikas- gasemissies

Uit eerdere PBL-studies is al duidelijk het belang gebleken van het verbruik van fossiele energiedragers voor zowel de klimaatopgave (zie Vollebergh et al. 2014) als de ambities van de circulaire economie (zie Vollebergh et al. 2017). Dit belang bleek in het vorige hoofdstuk ook al uit het feit dat fossiele energiedragers enerzijds voor *verbranding* en anderzijds als *grondstof* worden gebruikt. In dit hoofdstuk geven we daarom allereerst een overzicht van zowel het fossiele energieverbruik als de broeikasgasemissies in de verschillende sectoren van de Nederlandse economie. Vervolgens bespreken we hoe deze zijn gerelateerd aan de momenteel bij de uitwerking van de energietransitie opgezette klimaattafels.

3.1 Fossiel energieverbruik

In Nederland bedraagt het totale primaire energieverbruik van energie op basis van het verbruikssaldo 3.076 petajoule in 2015 (zie tabel 3.1). Hier is voor een weergave op basis van het verbruikssaldo gekozen, omdat hierin ook de omzettingsverliezen, het eigen verbruik van energiedragers door de energiesector en distributieverliezen zijn meegenomen. Omdat de energiesector bij de omzetting van aardolie naar benzine, diesel en kerosine meer energie produceert dan in Nederland wordt verbruikt, is het verbruikssaldo van aardolieproducten negatief. Maar bij het verbruik van aardolie als grondstof is dat omgekeerd. Verder is in deze tabel elektriciteit niet als zodanig herkenbaar, want een afgeleid product van de energiesector. Wel is een deel terug te vinden onder de categorie 'overig', waar een positief verbruikssaldo ontstaat als Nederland meer elektriciteit invoert dan uitvoert. Merk op dat hier ook de sectoren verkeer en huishouden zijn meegenomen.

Tabel 3.1 geeft een opsplitsing van het verbruik van energie voor Nederland naar energiedrager. Het verbruik is opgesplitst in energetisch (verbranding), *duaal* en *feedstock* (zie Vollebergh et al. 2017: 48). Bij het *verbranden* van energiedragers zoals aardolieproducten of aardgas gaat het om productieprocessen waarbij deze energie direct wordt verbrand om warmte of kracht te genereren. Dat gebeurt in allerlei industriële processen en in elektriciteitscentrales, maar ook bij huishoudens wanneer de cv-ketel brandt of benzine wordt verbrand (zie Vollebergh et al. 2014). Bij *duaal verbruik* van energiedragers in productieprocessen, zoals bij de vervaardiging van materialen als aluminium, ijzer en staal, cement, dienen energiedragers voor zowel het verhogen van de temperatuur, bijvoorbeeld om te kunnen smelten of om te vormen, als het leveren van grondstof in de productie van het materiaal of halffabricaat (output). Een derde toepassing van energiedragers is het *feedstock*-verbruik. In dat geval worden de energiedragers niet verbrand, maar geheel verwerkt en opgeslagen in een product. De energie-inhoud zelf blijft daarmee ook behouden in deze producten. Het gaat hierbij bijvoorbeeld om productieprocessen die kunststoffen of kunstmest opleveren.

Uit tabel 3.1 blijkt dat van het totaal van 3.076 petajoule 77 procent energetisch, 3 procent *duaal* en 18 procent als *feedstock* wordt aangewend. Voor 2015 is hier te zien dat in termen

van volumes en percentages het niet-energetische verbruik (dual én *feedstock*) voornamelijk bestaat uit de inzet van aardolie, aardgas en nog een klein aandeel uit de inzet van kolenproducten (steenkool, bruinkoolcokes, en dergelijke). Vooral de categorie 'aardolie' bestaat voornamelijk uit zowel ruwe aardolie en aardgascondensaat dat voor de productie van plastic wordt gebruikt, als uit het verbruik om aardolieproducten als benzine en diesel te maken (die grotendeels worden geëxporteerd). Bij aardolie kan een fors aandeel van het verbruik (39 procent) worden toegewezen aan de inzet als grondstof, zoals bij de productie van kunststoffen in de petrochemische industrie. Bij aardgas gaat het om een aandeel van 7 procent van het totale finale verbruik, waar de toepassing voornamelijk kan worden gevonden in de productie van kunstmest.

Tabel 3.1
Energetisch, dual en feedstock-verbruik van energie in Nederland in 2015¹⁾

Energiedrager	Energetisch verbruik		Dual verbruik		Feedstock		Totaal primair
	PJ	% Totaal primair verbruik	PJ	% Totaal primair verbruik	PJ	% Totaal primair verbruik	PJ
Aardolie	715	61%	4	0%	455	39%	1.174
Aardgas	1.094	92%	5	0%	87	7%	1.186
Kolen	394	85%	67	15%	0	0%	461
Hernieuwbaar	144	99%	1	1%	0	0%	145
Kernenergie	39	99%	0	1%	0	0%	39
Overig	70	99%	1	1%	0	0%	71
Totaal	2.456	80%	77	3%	542	18%	3.076

Bron: Emissieregistratie, medio 2017

1. Het betreft hier het energieverbruik volgens het verbruikssaldo. Dit bevat naast het finale verbruik van energie ook de verliezen bij de omzetting van energie, het eigen verbruik van energie in de energiesector en de distributieverliezen.

3.2 Broeikasgassen in Nederland

Het verbruik van fossiele energiedragers leidt, zoals aangegeven, vroeg of laat in de keten tot broeikasgasemissies. In deze paragraaf gaan we na hoe groot de omvang hiervan is en waar in de keten die in Nederland worden uitgestoten. Hierdoor ontstaat een goed beeld van waar het verbruik van fossiele energiedragers daadwerkelijk leidt tot uitstoot van relevante broeikasgasemissies. In 2015 was de totale emissie van broeikasgassen in Nederland 195,6 miljard kilo CO₂-equivalenten (tabel 3.2). Dit zijn de emissies zoals ze in de Emissieregistratie bepaald zijn volgens de IPCC-methode, met uitzondering van de emissies voor het verkeer, die volgens de methode van de Emissieregistratie zijn bepaald (zie Drissen & Vollebergh 2018).³ Het grootste deel van de broeikasgasemissies bestaat uit koolstofdioxide, namelijk 85 procent. De andere stoffen hebben samen een bijdrage van ongeveer 15 procent.

³ Volgens de IPCC-methode worden de emissies voor verkeer bepaald op basis van de verkoop van motorbrandstoffen, terwijl de Emissieregistratie deze emissie berekent op basis van het verreden aantal kilometers in Nederland. De methode van de Emissieregistratie geeft daarmee in dit opzicht een beter beeld van de daadwerkelijk in Nederland geëmitteerde omvang dan de IPCC-methode. Daarnaast geeft de Emissieregistratie ook de emissies door de zeescheepvaart, terwijl die volgens het IPCC niet door de landen gerapporteerd hoeven te worden. Ook de natuurlijke emissies hoeven volgens het IPCC niet te worden gerapporteerd. De Emissieregistratie bepaalt die wel. Het gaat daarbij alleen om emissies van methaan en lachgas. De emissies van de zeescheepvaart en natuur zijn in deze notitie echter niet meegenomen, omdat ze niet onder de beleidsopgave van het Klimaatakkoord vallen.

Tabel 3.2**Emissie van broeikasgassen in Nederland in 2015 (in CO₂-equivalenten)¹⁾**

	Miljard kg	%
Koolstofdioxide	166,1	84,9
Methaan	18,4	9,4
Distikstofoxide	8,5	4,3
F-gassen	2,6	1,3
Totaal	195,6	100

Bron: Emissieregistratie, maart 2018

1. Voor de omvang van de emissies van de broeikasgassen is in deze notitie gebruikgemaakt van de meest recente versie van de Emissieregistratie. Daarin wijken de emissies iets af van de versie die voor de Nationale Energieverkenning 2017 (Schoots et al. 2017) is gebruikt. De emissies volgens die verkenning zijn leidend voor het bepalen van de klimaatopgave en niet de emissies zoals gepresenteerd in deze notitie. De emissies als gevolg van landgebruik, landgebruiksverandering en bosbouw ('LULUCF') worden door de Emissieregistratie niet meegenomen.

Ruim een kwart van de broeikasgassen zoals vermeld door de Emissieregistratie is afkomstig van de energiesector en ruim een vijfde is afkomstig van verkeer en vervoer (tabel 3.3). Zowel voor de energiesector als voor verkeer en vervoer geldt dat bijna alleen koolstofdioxide wordt uitgestoten. De industrie (raffinaderijen, chemie en overige industrie), waar de materialen, halffabricaten en eindproducten worden gemaakt en waar de meest interessante aangrijpingspunten liggen voor de circulaire economie (zie Vollebergh et al. 2017), is verantwoordelijk voor ruim één vijfde van de emissies van broeikasgassen. Afvalverwijdering is een andere sector die vanuit CE-oogpunt relevant is. Het aandeel van 3 procent door afvalverwijdering is in de totale emissie van broeikasgassen bescheiden, zij het niet verwaarloosbaar.

Tabel 3.3**Totale emissie van broeikasgassen in Nederland in 2015, opgesplitst naar sectoren (in CO₂-equivalenten)**

	Miljard kg	Percentage
Landbouw	27,0	14
Energiesector ¹⁾	55,9	29
Industrie en raffinaderijen	45,0	23
• Raffinaderijen	11,1	5,7
• Chemische Industrie	17,8	9,1
• Overige industrie	16,1	8,3
Dienstensector	7,5	4
Verkeer en vervoer	35,8	18
Huishoudens	17,0	9
Afvalverwijdering	6,3	3
Overig ²⁾	0,9	1
Totaal	195,6	100

Bron: Emissieregistratie, maart 2018

1. De energiesector is hier exclusief de raffinaderijen en bestaat uit de winning van aardgas en aardolie, de opwekking van elektriciteit en het transport en distributie van aardgas en aardolie.
2. 'Overig' bestaat uit de bouw, drinkwatervoorziening en riolering en waterzuiveringsinstallaties.

3.3 Klimaattafels, fossiele energieverbruik en broeikasgassen

Ter voorbereiding op het nieuwe nationale klimaatakkoord zijn er vijf klimaattafels gevormd waaraan afspraken worden gemaakt over een evenwichtig en toekomstgericht pakket maatregelen om de emissie van broeikasgassen fors te reduceren. Aan elke klimaattafel kan steeds een deel van het fossiele energieverbruik en ook de broeikasgasemissies worden toegekend door deze te koppelen aan de verschillende sectoren die in de economie worden onderscheiden (zie tabel 3.4 en 3.5).

Uit tabel 3.4 valt op te maken dat de industrie verantwoordelijk is voor verreweg het grootste deel van het fossiele verbruik, te weten ruim 1.100 petajoule. Een goede tweede is elektriciteit, maar daarvan is ook nog een aanzienlijk deel niet-fossiel opgewekt. De industrie is goed voor maar liefst 39 procent van het totale fossiele verbruik en 37 procent van het totale verbruik, terwijl het bij elektriciteit gaat om 28 respectievelijk 33 procent. Van het niet-fossiele deel bij elektriciteit is een deel kernenergie (39 petajoule) en invoer van elektriciteit (29 petajoule). Als aandeel van het totale verbruik heeft elektriciteit verreweg het grootste aandeel niet-fossiel (21 procent) en hernieuwbaar (14 procent). Voor landbouw is dat 6,5 procent (door aardwarmte en dergelijke; dus niet warmte-krachtkoppeling) en voor de gebouwde omgeving en voor industrie is dat bijna 3 procent, en voor mobiliteit 0 procent, omdat elektriciteit voor vervoer onder de sector elektriciteit valt.

Tabel 3.4

Aandeel energieverbruik waarop de klimaattafels betrekking hebben ¹⁾

Klimaattafels	Sectoren (zie tabel 3.3)	Energieverbruik in petajoule		Aandeel	
		Fossiel	Totaal	Fossiel	Totaal
Gebouwde omgeving	Dienstensector en huishoudens	414	425	14,7	13,8
Mobiliteit	Verkeer en vervoer	437	437	15,5	14,2
Industrie	Raffinaderijen, chemische industrie, overige industrie, bouw, afvalverwijdering en winningsbedrijven	1.106	1.137	39,1	37,0
Elektriciteit	Elektriciteitssector en invoer elektriciteit	792	1.001	28,1	32,5
Landbouw en landgebruik	Landbouw	71	76	2,5	2,5
Totaal		2.820,5	3.076,5	100,0	100,0

Bron: Eigen berekeningen op basis van Energiebalans op CBS Statline

1. Omdat elektriciteit een aparte tafel heeft, zijn het elektriciteitsverbruik en het verbruik van de bij de opwekking van elektriciteit vrijkomende warmte niet verdeeld over de finale verbruikers. Het weergegeven verbruik betreft het directe verbruik van energiedragers volgens het verbruikssaldo. Dat is de energie die als input dient voor elektriciteitsopwekking. Voor andere omzettingen, die vooral afkomstig zijn uit de raffinaderijen, is het eindverbruik wél toegekend aan de finale verbruikers, maar zijn de omzettingsverliezen toegekend aan de raffinaderijen.

Wanneer vervolgens de broeikasgasemissies aan dezelfde klimaattafels worden gekoppeld, blijkt dat er een gelijkmatiger verdeling over de verschillende tafels is. Dat komt bijvoorbeeld doordat methaan in de landbouw een veel sterker broeikasgas is dan CO₂. Hoewel de landbouw dus nog geen 3 procent van het fossiele energieverbruik voor zijn rekening neemt, is deze tafel wel verantwoordelijk voor zo'n 14 procent van de broeikasgasemissie (tabel 3.5)). Het aandeel van de broeikasgassen dat onder de verantwoordelijkheid van de

industrietafel valt, is ongeveer 28 procent en dus behoorlijk kleiner dan het aandeel in het fossiele energieverbruik waarvoor deze tafel verantwoordelijk is. Dit weerspiegelt dus het gebruik van fossiele energie als grondstof in de industrie.

Tabel 3.5

Aandeel broeikasgasemissies in relatie tot de klimaattafels¹⁾

Klimaattafel	Sectoren (zie tabel 3.3)	Miljard kilogram CO ₂ - equivalenten	%	Ambitie in megaton per 2030
Gebouwde omgeving	Dienstensector en huishoudens	25,0	12,8	-7
Mobiliteit	Verkeer en vervoer	35,8	18,3	-7
Industrie	Raffinaderijen, chemische industrie en overige industrie, bouw, afvalverwijdering en winningsbedrijven	54,6	27,9	-22
Elektriciteit	Elektriciteitssector	53,2	27,2	-20
Landbouw en landgebruik ²⁾	Landbouw	27,0	13,8	-3,5
Totaal		195,6	100	-60

Bron: Emissieregistratie, maart 2018

1. Omdat in deze notitie gebruik is gemaakt van een recentere versie van de Emissieregistratie dan in de Nationale Energieverkenning van 2017, wijkt de toedeling van de broeikasgasemissies in deze notitie ook iets af van de toedeling in Koelemeijer et al. (2018), omdat de laatste onderzoekers zich baseren op de emissies volgens die verkenning. Voor het Klimaatakkoord is de toedeling zoals in Koelemeijer et al. (2018) weergegeven, echter leidend.
2. Het gaat hier dus om de toerekening van BKG's exclusief landgebruik (LULUCF)

4 Overlap ambities circulaire economie en Klimaatakkoord

Van het totale gebruik van fossiele energie in de Nederlandse economie leidt uiteindelijk een deel direct tot extra broeikasgasemissies en een ander deel, vooral via dual en *feedstock*-verbruik, tot uitgestelde emissies. Deze uitgestelde emissies worden (tijdelijk) opgeslagen in de materialen, halffabricaten en eindproducten en komen pas weer vrij na verbranding (CO₂) of op een stortplaats (methaan). In hoofdstuk 2 is aangegeven dat de concrete invulling van het streven naar een circulaire economie verloopt via twee hoofdlijnen, namelijk grondstoffen langer in de keten houden via recycling en hergebruik én het vervangen van fossiele, kritieke en niet-duurzaam geproduceerde grondstoffen door duurzaam geproduceerde, hernieuwbare en algemeen beschikbare grondstoffen. De kernvraag is dus nu waar in de keten – en daarmee aan welke klimaatopgaves – uiteindelijk een mogelijke bijdrage van de circulaire economie aan de klimaatopgave kan worden verwacht. In dit hoofdstuk werken we deze overlap tussen de ambities van de circulaire economie en het klimaatakkoord uit, op basis van bestaande gegevens van het CBS en de Emissieregistratie.

4.1 Verbruik van fossiele energie in sectoren

Om meer zicht te krijgen op het aandeel van de industrie in het relevante verbruik van fossiele energiedragers, is in tabel 4.1 aangegeven waar in het energiesysteem de verschillende energiedragers worden gebruikt en wat hun specifieke toepassing is (vergelijk ook tabel 3.1). Uit deze tabel blijkt dat fossiele energiedragers, vooral kolen, aardolie en aardgas, buiten de energiesector vooral in de industriële sector worden gebruikt. Dat geldt vooral voor het dual verbruik, dat grotendeels in de vorm van kolen wordt verbruikt in de ijzer- en staalindustrie, en *feedstocks* die vooral in de chemische industrie in de vorm van aardolie en aardgas worden verwerkt.

Maar naast dit gebruik van fossiele energiedragers als grondstof, is de directe verbranding in de industriële sector van deze energiedragers ook nog eens verantwoordelijk voor een kleine 10 procent van het totale energieverbruik in Nederland. Andere grote verbruikscategorieën zijn aardolie voor vervoer (motorbrandstoffen) en aardgas in de gebouwde omgeving (verwarming), beide goed voor zo'n 14 procent van het totale energetische verbruik en veelal slechts van indirect belang voor de circulaire economie. Tot slot neemt vooral de energiesector een groot deel van het fossiele verbruik voor zijn rekening, in het bijzonder de opwekking van elektriciteit en warmte ('overig energiesector'), respectievelijk 31 en 8 procent. Terzijde zij opgemerkt dat elektriciteitsopwekking uit afvalverwerking valt onder 'biomassa' (40 petajoule biogene deel) en 'overige hernieuwbaar' (38 petajoule niet-biogene deel).

In hoofdstuk 2 is aangegeven dat de overlap van circulaire economie en energietransitie vooral daar in de keten moet worden gezocht waar fossiele energiedragers een rol spelen. Uit de opsplitsing in tabel 4.1 wordt niet direct duidelijk dat veel van de energie uit de energiesector – die voor verreweg het grootste deel bestaat uit fossiele energiedragers – ook

direct wordt gebruikt in sectoren die vooral van belang zijn voor het streven naar een meer circulaire economie. Zoals blijkt uit Vollebergh et al. (2017), zijn dat in het bijzonder de industriële sectoren. Daarbij is het tevens van belang vast te stellen waar in de grondstof- en materiaalketen dat verbruik precies plaatsvindt.

Tabel 4.1

Energieverbruik naar toepassing in Nederland in 2015 (in petajoule)

	Fossiele energiedragers			Niet-fossiele energiedragers			Totaal	
	Kolen	Aard-olie	Aard-gas	Bio-massa	Overig hernieuwbaar	Overige bronnen ¹⁾	PJ	%
<i>Energiesector</i>								
• Input opwekking elektriciteit	361	15	408	72	32	74	961	31,3
• Overig energiesector ²⁾	13	123	59	19	0	31 ⁴⁾	246	8,0
<i>Finaal energetisch verbruik</i>								
• Landbouw en visserij	0	25	46	3	2	0	76	2,4
• Industrie en bouw	20	108	170	5	0	3	306	9,9
• Vervoer	0	433	2	0	0	0	435	14,1
• Gebouwde omgeving ³⁾	0	11	410	11	1	0	433	13,9
• Afvalverwijdering	0	0	3	1	0	1	5	0,2
<i>Duaal verbruik</i>								
• Industrie	67	4	5	1	0	1	77	2,5
<i>Feedstock</i>								
• Industrie en bouw	0	455	87	0	0	0	538	17,5
• Vervoer en overig	0	4	0	0	0	0	4	0,1
Totaal	461	1.174	1.186	110	35	80	3.076	100

Bron: CBS Statline, medio 2017

1. De overige bronnen zijn kernenergie, niet-biogene huishoudelijk afval en reststroom en overig.
2. Bestaat uit de verliezen door energieomzetting anders dan door elektriciteitsopwekking en door duaal verbruik van energie. Dat gebeurt vooral in de raffinaderijen. Daarnaast bestaat het verbruik van de overige energiesector uit het eigen verbruik bij de winning van aardgas en aardolie, de energiesector en de raffinaderijen, het distributieverlies van aardgas en aardolie en de invoer van elektriciteit.
3. Het energieverbruik in de gebouwde omgeving bestaat uit het energieverbruik door de huishoudens en de dienstensector.
4. Hiervan bestaat 30 petajoule uit de invoer van elektriciteit.

Tabel 4.2 en 4.3 verduidelijken het belang van het gebruik van fossiele energiedragers in de materiaal- en productketen in Nederland. In tabel 4.2 splitst het energetische *finale verbruik* (waarbij dus in tegenstelling tot tabel 4.1 geen rekening wordt gehouden met omzettingsverliezen) naar waar in de keten precies gebruik wordt gemaakt van welk type energie. Het gaat dan in het bijzonder om gebruik voor *verbranding, warmte of kracht*. Daarbij is ook de voor sectoren relevante vraag naar elektriciteit en warmte toegerekend aan deze sectoren. Vervolgens geeft tabel 4.3 inzicht in het gebruik van fossiele energiedragers als *grondstof* (dual of *feedstock*) over de onderliggende sectoren en naar de plaats daarvan in de grondstof- en materiaalketen (de in hoofdstuk 2 genoemde vier fasen). Daarbij is tevens rekening gehouden met de verschillende fasen in de grondstof- en materiaalketen zoals die eerder is beschreven in paragraaf 2.2.

Tabel 4.2 maakt duidelijk dat meer dan de helft van het energetische verbruik in de voor de circulaire economie relevante sectoren afkomstig is van de overige basischemie. Deze sector is daarnaast ook verantwoordelijk voor het grootste deel van de vraag naar restwarmte in de sector, alsmede voor een aanzienlijk deel van het elektriciteitsverbruik. Naast de overige basischemie bestaat de chemie ook uit de productie van kunstmeststoffen en uit de chemische eindproducten. Die zijn samen verantwoordelijk voor ongeveer 12 procent van het finale verbruik van de voor de circulaire economie relevante sectoren. Ver na de chemische industrie komt basismetaal, met een totaal verbruik van 9 procent van het totaal, waarbij kolen het grootste deel voor zijn rekening neemt.

Tabel 4.2

Finaal energetisch verbruik in de materiaal- en productketen in Nederland in 2015 (in petajoule)

	Direct energetisch verbruik					Sub- totaal	Indirecte levering ¹⁾		Totaal	
	Kolen	Aard- olie	Aard- gas	Bio- massa	Niet biogeen afval		Elek- triciteit	Rest- warmte	PJ	%
Grondstoffenfase (fase 1)										
Delfstoffenwinning ²⁾	0	0	2	0	0	2	1	2	5	1
Basisindustrie: productie materialen en halffabricaten (fase 2)										
Kunstmeststoffen	0	0	23	0	1	24	3	2	28	6
Overige basischemie	0	89	34	0	0	123	36	69	229	50
IJzer- en staal	17	0	10	0	0	27	10	3	40	9
Non-ferrometaal	0	0	3	0	1	4	7	0	11	2
Bouwmaterialen	2	0	17	1	0	20	4	0	24	5
Papier	0	0	5	1	0	6	7	8	20	4
Verwerkende industrie: productie van eindproducten (fase 2)										
Chemische eindproducten ³⁾	0	1	12	0	0	13	11	3	27	6
Metaalelektro bewerking	0	1	12	0	0	13	12	0	25	5
Overige industrie ⁴⁾	0	0	6	1	0	7	5	0	13	3
Bouwnijverheid	0	17	4	0	0	21	3	0	24	5
Afvalfase (fase 4)										
Afvalverwijdering	0	0	3	1	1	5	6	4	14	3
Totaal	20	108	130	4	4	266	104	90	460	100

Bron: CBS Statline, medio 2017

1. Uitgaande van de energietabellen is de omvang van het elektriciteits- en warmteverbruik per sector bepaald. Ook hier gaat het om finaal verbruik en zijn de omzettingsverliezen dus niet meegenomen. Het gaat dus om levering door derden van restwarmte bij de elektriciteitsproductie. Dat kunnen elektriciteitscentrales zijn, maar ook andere bedrijven (zelfs in dezelfde sector) die elektriciteit opwekken met wkk en warmte over hebben. Uitgesloten is de warmte die het bedrijf zelf produceert én gebruikt (ook van eigen wkk).
2. Exclusief de winning van aardgas en aardolie.
3. Is verwerkende chemische industrie, de farmaceutische industrie en de rubber- en kunststofproducten industrie.
4. Is de textiel- en kledingindustrie, houtindustrie, grafische industrie en meubelindustrie.

Tabel 4.3 geeft inzicht in welke (sub)sectoren met name het duale verbruik van fossiele energiedragers plaatsvindt en het verbruik als *feedstock*. Merk op dat in deze tabel het duale verbruik wel expliciet wordt weergegeven en bestaat uit het verbruik van kolen, elektriciteit

bij aluminium en wat aardolie en elektriciteit bij de chemie. Het totaal voor duaal verbruik correspondeert met het totaal in tabel 3.1, omdat duaal verbruik alleen in de industriector voorkomt. Uit deze tabel wordt duidelijk dat dit duale en *feedstock*-verbruik eveneens voor het overgrote deel in de subsector chemie plaatsvindt. Het gaat om maar liefst 86 procent van het totaal duale en *feedstock*-verbruik. Daarnaast is ijzer- en staalproductie nog een substantiële verbruiker, met zo'n 10 procent van het totaal. Van een deel is niet precies bekend in welke subsector dit terecht komt. Vervoer en overig gebruik betreft bijna uitsluitend smeermiddelen.

Tabel 4.3

Duaal en feedstock-verbruik in de industrie Nederland in 2015 (in petajoule)¹⁾

	Duaal			Feedstock			Totaal
	Kolen	Aardolie	Elektriciteit	Kolen	Aardolie	Aardgas	
Papier					1,7		1,7
Kunstmest						69,4	69,4
Overige basischemie		3,5	5,1		439,8	17,4	465,8
IJzer- en staal	63,4			0,1			63,5
Non-ferrometaal			4,8				4,8
Bouwnijverheid					8,2		8,2
Industrie onbekend					1,8		1,8
Vervoer					2,3		2,3
Overige gebruikers					1,4		1,4
Totaal	63,4	3,5	9,9	0,1	455,2	86,8	618,8

Bron: CBS Statline, medio 2017 en eigen berekeningen voor het duale verbruik

1. De voedingsmiddelenindustrie gebruikt nog 0,3 PJ kolen maar valt buiten de analyse van de overlap in deze studie aangezien deze onderdeel is van de voedselketen

Met het oog op de circulaire economie zijn – afgezien van de voedselketen – vooral de in tabel 4.2 en 4.3 gepresenteerde sectoren in de materiaal- en productketen van belang. Daarbij gaat het om kleine sectoren als de grondstoffenwinning (exclusief winning van aardgas en aardolie), maar vooral ook om grote sectoren zoals de basisindustrie, de verwerkende industrie (exclusief de voedingsmiddelenindustrie omdat die tot de voedselketen behoort) en afvalverwijdering (zie Vollebergh et al. 2017 voor een uitvoeriger toelichting). Van deze sectoren kan vervolgens worden vastgesteld wat het precieze aandeel is van de fossiele energiedragers in het totaal van Nederland en ook nog opgesplitst naar toepassing (energetisch, duaal of *feedstock*). Zodoende ontstaat een beeld van de mogelijke overlap van de circulaire economie en de energietransitie wat betreft het verbruik van fossiele energiedragers.

Uiteindelijk geeft tabel 4.4 het totale (fossiele) energieverbruik in de materiaal- en productketen. Het (fossiele) energetische verbruik van energiedragers (266 petajoule) en het gebruik van elektriciteit (104 petajoule) en en restwarmte (90 petajoule) zijn gelijk aan de omvang zoals weergegeven in tabel 4. 2. Omdat elektriciteitsopwekking gepaard gaat met omzettingsverliezen, moeten hieraan ook de omzettingsverliezen van de door de relevante sectoren gebruikte elektriciteit worden toegevoegd. Het duale verbruik en het gebruik als *feedstock* van energiedragers is gelijk aan de totale waarden zoals die in tabel 4.4 zijn weergegeven. Van het duale verbruik is een klein deel niet-fossiel, omdat een deel van het duale elektriciteitsverbruik met behulp van niet-fossiele energiedragers is opgewekt. Zowel bij de opwekking van de elektriciteit die duaal wordt gebruikt als bij de raffinage van de als *feedstock* gebruikte energiedragers treden eveneens omzettingsverliezen op. Ook deze worden toegekend aan de sectoren die energiedragers duaal en als *feedstock* gebruiken.

Uit tabel 4.4 blijkt dat van het totale energieverbruik ongeveer 39 procent verbruikt wordt in de materiaal- en productketen die relevant is voor de circulaire economie. Van het fossiele verbruik is dat zelfs meer dan 40 procent. Daarvan bestaat meer dan de helft uit duale toepassingen en *feedstocks*, te weten ruim 22 procent van het fossiele verbruik en 20 procent van het totaal. Het overige deel is dus gerelateerd aan verbranding van energiedragers in deze sectoren.

Tabel 4.4

Aandeel relevante sectoren voor de circulaire energie in het totale energieverbruik in 2015¹⁾

	Absoluut (PJ)		Aandeel (%)	
	Fossiel	Totaal	Fossiel	Totaal
Energetisch verbruik energiedragers	258	266	9,1%	8,6%
Elektriciteit en restwarmte	159	194	5,6%	6,3%
Omzettingsverliezen elektriciteits- en warmteopwekking	100	116	3,6%	3,8%
Duaal verbruik energiedragers	75	77	2,7%	2,5%
Feedstock-energiedragers	542	542	19,2%	17,6%
Omzettingsverliezen feedstocks	10	11	0,4%	0,4%
Totaal circulaire economie	1.144	1.207	40,6%	39,2%
Totaal Nederland	2.821	3.076	100%	100%

Bron: Eigen berekeningen op basis van CBS Statline, Energiebalans, medio 2017

1. Het energetische verbruik van 266 petajoule en de 194 petajoule voor het totaal van elektriciteit en warmte volgt uit tabel 4.2. De hier weergegeven omzettingsverliezen zijn de verliezen die horen bij de gebruikte elektriciteit en restwarmte. De 77 petajoule dual en 542 petajoule *feedstocks* komen eveneens uit tabel 4.1 en zijn verder uitgewerkt in tabel 4.3.

Een belangrijke kanttekening is dat de aldus bepaalde omvang van relevante fossiele energiedragers al deels valt onder het beleid dat is gericht op het reduceren van de hieraan gekoppelde emissies in deze sectoren. Dit is het geval bij bedrijven die onder het Europese emissiehandelssysteem vallen. De aan dit energieverbruik gerelateerde broeikasgasemissies zijn immers al gereguleerd. Ook de energiebelasting speelt hier al een rol. Niettemin valt wel een aanzienlijk deel – vooral het niet-energetische verbruik – geheel buiten deze regulering (zie ook Vollebergh et al. 2014, 2017). Wanneer wordt aangenomen dat het volledige energetische verbruik van fossiele brandstoffen, elektriciteit en warmte al onder het Europese emissiehandelssysteem en de energiebelasting valt, resteert niettemin nog steeds een fors relevant en overlappend verbruik, namelijk 22 respectievelijk 20 procent.⁴

4.2 Emissies van sectoren relevant voor de circulaire economie

Naast het inzicht dat kan worden gegeven in het verbruik van fossiele energiedragers, kunnen ook de directe en indirecte verbrandingsemissies worden geïdentificeerd die samenhangen met de voor de circulaire economie relevante sectoren. Zo leidt de verbranding van kolen, olie en aardgas volgens vaststaande emissiefactoren *direct* tot broeikasgasemissies (zie Vollebergh et al. 2014). Voor het *feedstock*-verbruik geldt dat niet want dat leidt tot in producten opgeslagen broeikasgassen, net als bij een deel van de dual

⁴ De omzettingsverliezen van de feedstocks vinden plaats in de raffinaderijen. Bij deze omzetting komen broeikasgassen vrij en aangezien de raffinaderijen onder de ETS vallen mag je die niet meetellen met wat er buiten ETS valt. Daarom resteert dus 20% van het totaal (17,6+2,5 PJ) en 22% van fossiel (2,7+19,2 PJ).

verbruikte energiedragers. Een voorbeeld hiervan zijn de raffinageproducten benzine en diesel, maar ook kunstmestproductie en -gebruik.

Tabel 4.5

Broeikasgassen van de sectoren die relevant zijn voor de circulaire economie¹

	In megaton CO ₂ -eq.				Aandelen in totale broeikasgassen in NL (%)			
	Direct	Elek- tricititeit	Raffina- derijen	Totaal	Direct	Elek- tricititeit	Raffina- derijen	Totaal
Grondstoffenfase (fase 1)								
• Winning van delfstoffen ²⁾	0,1	0,1		0,2	0,1%	0,1%		0,1%
Basisindustrie: productie materialen en halffabricaten (fase 2)								
• Basischemie	11,8	5,3	1,9	19,0	6,0%	2,7%	1,0%	9,7%
• Kunstmeststoffen	5,5	0,3		5,7	2,8%	0,1%		2,9%
• Basismetaal	6,6	2,7		9,3	3,4%	1,4%		4,8%
• Bouwmaterialen	1,6	0,7		2,3	0,8%	0,3%		1,2%
• Papier(waren)	0,8	0,8		1,6	0,4%	0,4%		0,8%
<i>Subtotaal</i>	26,3	9,8	1,9	37,9	13,4%	4,9%	1,0%	19,4%
Verwerkende industrie: productie van eindproducten (fase 2)								
• Textiel	0,1	0,2		0,3	0,1%	0,1%		0,2%
• Lederindustrie	0,0	0,0		0,0	0,0%	0,0%		0,0%
• Houtbewerking	0,1	0,1		0,2	0,0%	0,1%		0,1%
• Grafische industrie	0,1	0,3		0,4	0,0%	0,2%		0,2%
• Chemische producten	0,6	0,5	0,0	1,1	0,3%	0,3%	0,0%	0,6%
• Rubber- en kunststofverwerking	0,2	0,9		1,2	0,1%	0,5%		0,6%
• Metaalelektro bewerking	0,8	1,9		2,7	0,4%	1,0%		1,4%
• Industrie overig ³⁾	2,0	0,6		2,6	1,0%	0,3%		1,3%
• Bouw ⁴⁾	0,5	0,5	0,1	1,1	0,2%	0,3%	0,1%	0,6%
<i>Subtotaal</i>	4,4	5,0	0,1	9,6	2,1%	2,8%	0,1%	4,9%
Afvalfase (fase 4)								
• Afvalverwijdering	6,3	0,3		6,7	3,2%	0,2%		3,4%
• Riolering en waterzuiverings-installaties	0,3	0,0		0,3	0,1%	0,0%		0,1%
<i>Subtotaal</i>	6,6	0,0		7,0	3,3%	0,2%		3,5%
Totaal CE	37,5	14,8	2,1	54,6	19,0%	7,7%	1,1%	28,0%

Bron: Eigen berekeningen op basis van de Emissieregistratie

1. Elektriciteit is toegerekend aan de industriële sectoren op basis van het aandeel van deze sectoren in het totaal aan centraal opgewekte elektriciteit. De emissies door zelfopgewekte elektriciteit vallen onder de directe emissies van de industriële sectoren. Voor raffinaderijen is de totale productie van aardolieproducten van raffinaderijen bepaald en vervolgens van industriële sectoren welk deel zij daarvan afnemen. Daarbij is verondersteld dat het totaal aan aardolieproducten dat industriële sectoren gebruiken, wordt afgenomen van Nederlandse raffinaderijen en is geen rekening gehouden met een eventuele invoer van aardolieproducten.
2. Exclusief de winning van fossiele grondstoffen.
3. Inclusief de emissies van broeikasgassen als gevolg van productgebruik in de industrie, die niet is toegedeeld aan de afzonderlijke industriële sectoren. Het gaat hierbij vooral om fluorkoolwaterstoffen die vrijkomen bij koelen en vriezen en bij het gebruik van airco's.
4. In de Emissieregistratie vallen ook de emissies van de delfstoffenwinning (exclusief de winning van fossiele grondstoffen) onder de bouw. Die zijn in de tabel apart weergegeven.

Behalve directe emissies zijn ook de *indirecte* emissies van belang in het bijzonder de indirecte emissies die voortvloeien uit elektriciteitsverbruik in de voor de circulaire economie relevante sectoren. Met dat verbruik zijn immers broeikasgassen gemoeid die afhankelijk zijn van de samenstelling van het park waarmee de elektriciteit is opgewekt. Zolang veel elektriciteit wordt opgewekt met fossiele brandstoffen is dat indirecte verbruik ook vervuילend. Hetzelfde geldt voor het gebruik van raffinageproducten, vooral in de basischemie.

Tabel 4.5 schetst de omvang en verdeling over de sectoren van de directe broeikasgassen in de voor de circulaire economie relevante sectoren, alsmede de indirecte broeikasgassen via elektriciteit en raffinaderijen. Daarbij zijn de sectoren onderscheiden naar de relevante fase in de keten van grondstof tot afval (zie ook hoofdstuk 2 en Vollebergh et al. 2017). Het gaat daarbij vooral om subsectoren in de basisindustrie, waar materialen en halffabricaten worden geproduceerd, en de verwerkende industrie, waar eindproducten worden vervaardigd.

Het beeld dat ontstaat, is dat de voor de circulaire economie relevante sectoren goed zijn voor ongeveer 28 procent van de totale broeikasgasemissies in 2015 in Nederland. Het grootste deel, ongeveer 19 procentpunt wordt direct door de sectoren geëmitteerd, maar daarnaast is ook nog eens bijna 8 procentpunt het gevolg van het elektriciteitsverbruik en ruim één procentpunt van het verbruik van raffinageproducten. De basisindustrie is de belangrijkste emittent van broeikasgassen en is verantwoordelijk voor 19,4 procent van de totale broeikasgasemissies in Nederland. Niet erg verrassend is dat vooral de basischemie en basismetaal grote emittenten zijn en tegelijk grootverbruikers van elektriciteit en raffinageproducten. Naar verhouding wordt ook nog veel elektriciteit verbruikt in de metaalelektro-industrie. De verwerkende industrie (waaronder de bouw) veroorzaakt veel minder broeikasgasemissies dan de basisindustrie, maar is toch nog verantwoordelijk voor bijna 5 procent. In de grondstoffenfase worden nauwelijks broeikasgasemissies uitgestoten.

Verder blijkt ook afvalverwijdering nog goed voor een aanzienlijke directe bijdrage van 3,3 procent aan broeikasgasemissies in Nederland. In feite komen hier dus de bij eerdere productieprocessen opgeslagen koolstofmoleculen weer vrij als broeikasgassen. Voor zover het hier gaat om op fossiele grondstoffen gebaseerde producten, is sprake van uitgestelde emissie, maar dat geldt vanzelfsprekend niet voor de andere materialen die bij deze verbranding vrijkomen, bijvoorbeeld in de vorm van bodemas.

4.3 Sectoremissies en indirecte ketenemissies

In de vorige paragraaf is aangegeven wat het aandeel van de broeikasgasemissies is waarbij de ambities van een circulaire economie aansluiten bij de doelstellingen uit het Klimaatakkoord. Daarbij is niet alleen gekeken naar de directe emissies van de relevante sectoren, maar ook naar de indirecte emissies als gevolg van het gebruik van elektriciteit en raffinageproducten. Behalve deze indirecte emissies zijn er nog veel meer indirecte emissies als gevolg van de winning van de gebruikte grondstoffen, de productie van materialen en grondstoffen die als inputs worden gebruikt, het transport, of de constructie en bouw van installaties en gebouwen die bij de productie worden gebruikt. Deze emissies worden ook wel 'emissies in de keten' genoemd. Daarbij kan het overigens ook gaan om inputs uit sectoren die zelf eveneens van belang zijn voor de circulaire economie. Zo gebruikt de machine-industrie ijzer en staal uit de basismetaalindustrie terwijl beide sectoren relevante zijn voor de circulaire economie.

Schattingen van deze emissies in de keten zijn zeer complex en kunnen niet worden bepaald aan de hand van informatie uit de Emissieregistratie of de Energiebalansen van het CBS. Daarom is hiervoor gebruikgemaakt van het multiregionale input-outputmodel Exiobase (zie Tukker et al. 2009), waarmee een inschatting kan worden gemaakt van de indirecte ketenemissies die met de hiervoor geïdentificeerde sectoren zijn gemoeid. Op basis van de

eerdere PBL-studie van Vollebergh et al. (2017) zijn *gemiddelde multipliers* vastgesteld om de indirecte emissies te bepalen van de productie op een specifieke plek in de keten, namelijk voor de basisindustrie en voor de verderop in de keten verwerkende industrie in Nederland. Deze multipliers geven aan wat in potentie de (extra) bijdrage is van indirecte ketenemissies in Nederland en daarbuiten, boven op de directe emissie van een sector (welke dus een multiplier heeft van 1).

Bij het bepalen van de indirecte emissies voor alle relevante sectoren voor de circulaire economie samen, ontstaan makkelijk dubbeltellingen. Dit is bijvoorbeeld het geval als emissies die vrijkomen bij de productie van ijzer en staal, zowel worden meegeteld als directe emissies door de basismetaal als indirecte emissies van de machine-industrie in Nederland. Om te corrigeren voor dergelijke dubbeltellingen is een indicatieve correctie op de multipliers toegepast, waarbij een onder- en bovengrens is bepaald. Tabel 4.6 geeft de berekende indirecte emissies binnen Nederland en daarbuiten.

Als bovengrens voor de basisindustrie is aangenomen dat de basisindustrie géén producten als inputs gebruikt die afkomstig zijn van andere sectoren in Nederland die relevant zijn voor de circulaire economie. Daarom hoeft voor deze multiplier van de basisindustrie niet te worden gecorrigeerd voor dubbeltelling. Bij de ondergrens voor de basisindustrie is door ons ingeschat dat ongeveer een kwart van de indirecte emissies samenhangt met het gebruik van inputs afkomstig van andere sectoren die relevant zijn voor de circulaire economie. De multiplier voor indirecte emissies in Nederland daalt daardoor van 0,34 naar 0,25 en voor indirecte emissies in het buitenland van 2,0 naar 1,5. Voor de andere sectoren, zoals de verwerkende industrie, de grondstoffenwinning en de afvalverwerkende industrie, ligt het voor de hand dat daar wel producten worden gebruikt uit andere voor de circulaire economie relevante sectoren. Daarom is ook de bovengrens gecorrigeerd voor dubbeltellingen.

Tabel 4.6

Directe en indirecte broeikasgasemissies van de voor de circulaire economie relevante sectoren (als percentage totale broeikasgasemissies Nederland)

	Direct	Indirect in Nederland		Indirect buiten Nederland		Totaal op basis ondergrens		
		Verhouding	Correctie voor dubbeltellingen	Verhouding	Correctie voor dubbeltellingen			
			Ondergrens		Bovengrens		Ondergrens	Bovengrens
Multiplier basisindustrie ¹⁾	1,00	0,34	0,25	0,34	2,0	1,5	2,0	1,85
Multiplier andere sectoren	1,00	1,39	0,25	1,00	6,5	2,0	3,5	3,25
Extra broeikasgassen als percentage van totale broeikasgasemissies in Nederland via multiplier (%)								
Grondstofwinning ²⁾	0,1%		0,0%	0,1%		0,1%	0,3%	0,2%
Basisindustrie	13,5%		3,2%	4,6%		20,2%	27,1%	36,9%
Verwerkende industrie	2,2%		0,6%	2,2%		4,4%	7,7%	7,2%
Afvalfase	3,4%		0,8%	3,4%		6,8%	11,9%	11,0%
Totaal	19,1%		4,8%	10,2%		31,6%	46,9%	55,5%

Bron: Eigen berekeningen op basis van Exiobase 2 en Vollebergh et al. (2017)

1. De multiplier voor de indirecte emissies in Nederland van één product is berekend door de emissies buiten de eigen sector in Nederland te delen door de emissies binnen de eigen sector. De multiplier van de indirecte emissies in het buitenland is bepaald door de indirecte emissies in het buitenland te delen door de directe emissies binnen de eigen sector. De multiplier voor de basisindustrie is een gewogen gemiddelde van de multipliers van de 20 grondstoffen, materialen en halfproducten die in hoofdstuk 4 van Vollebergh et al. (2017) zijn besproken. De multiplier voor de andere sectoren is een gewogen gemiddelde van de multipliers van de 18 eindproducten die in datzelfde hoofdstuk zijn besproken.
2. Exclusief winning van fossiele grondstoffen.

Uit Tabel 4.6 blijkt dat er aanzienlijke extra effecten optreden van specifieke veranderingen in fossiel energieverbruik op een bepaalde plek in de keten. Vanzelfsprekend zijn de directe emissies geringer bij de eindverwerkende industrie ten opzichte van de basisindustrie (zie ook tabel 4.5), terwijl de indirecte emissies juist groter zijn.

Wanneer deze multipliers worden toegepast op het bestaande aandeel van broeikasgasemissies in specifieke sectoren, dan kan worden geschat hoeveel extra broeikasgasemissies (als percentage van de totale broeikasgasemissies in Nederland zoals weergegeven in tabel 3.3) hiermee zijn gemoeid. Voor de basisindustrie bijvoorbeeld gaat het om bijna 13,5 procent directe emissies van het totaal in Nederland. Wanneer wordt uitgegaan van de ondergrenzen in de berekening, komen daar nog zo'n 3,2 procent indirecte emissies van dat totaal in Nederland bij, en nog eens 20 procent van dat totaal indirect buiten Nederland. In totaal is dus met de basisindustrie, direct en indirect eerder in de keten, maar liefst 37 procent van de totale broeikasgasemissies in Nederland gemoeid, waarvan overigens meer dan de helft in het buitenland plaatsvindt. De tabel geeft soortgelijke cijfers voor de andere sectoren. Daaruit blijkt dat de grote multipliers voor de verwerkende industrie een minder groot absoluut effect hebben dan de kleinere multipliers voor de basisindustrie, omdat de sectoren binnen de verwerkende industrie een veel geringer aandeel hebben in de totale emissie van Nederland.

4.4 Reductiepotentieel, klimaattafels en transitieagenda's

In deze notitie is alleen aangegeven wat de overlap is tussen de ambities van de circulaire economie en die van de energietransitie. Daarbij is niet in kaart gebracht welke specifieke maatregelen zouden kunnen worden ingezet om deze overlap te benutten voor beleid. Evenmin is nagegaan met welk instrumentarium welke specifieke maatregelen rendabel zouden worden. Het is van belang dat hierin meer inzicht wordt gegenereerd. Pas als meer concrete maatregelen en hun kostenstructuur in beeld zijn, kan de potentie van een bepaald type beleid beter worden onderzocht.

Deze notitie maakt wel het belang duidelijk van een goede afstemming tussen de klimaattafels die de ambities van het Klimaatakkoord verder uitwerken en de transitieagenda's die de ambities van de circulaire economie vorm moeten geven. Dit komt voornamelijk door de grote rol van fossiele energiedragers in beide transities. Zoals eerder aangegeven, is het langer in de keten houden van grondstoffen, materialen en (half-) fabricaten via recycling en hergebruik van belang voor het reduceren van broeikasgasemissies. Hetzelfde geldt voor het vervangen van fossiele grondstoffen door duurzaam geproduceerde grondstoffen (zie figuur 2.1). Via de transitieagenda's is daarom alleen een forse bijdrage aan de energietransitie te verwachten als daar grote stappen worden gezet richting meer recycling en hergebruik, maar zeker ook richting het vervangen van fossiele grondstoffen.

Eerder is al aangegeven welk deel van de broeikasgassen kan worden toegedeeld aan de voor de circulaire economie meest relevante klimaattafels voor energie. Dat is vooral de klimaattafel gericht op de industrie en raffinaderijen, die tezamen betrekking heeft op 28 procent van de totale broeikasgassen (zie paragraaf 3.2 en 4.3) en waar ook afvalverwijdering aan de orde komt. Daar komt dan de rol van elektriciteit bij, die weer afzonderlijk is belegd in een klimaattafel. Vanuit de transitieagenda's zijn echter veel van de *indirecte* ketenemissies gekoppeld aan het verbruik van elektriciteit. Omdat elektriciteit momenteel nog voor het overgrote deel met behulp van fossiele grondstoffen wordt opgewekt, zijn vaak ook veel indirecte broeikasgasemissies gekoppeld aan de industrie.

Het is vanuit deze optiek dan ook van groot belang oog te houden voor maatregelen die mogelijk positieve effecten hebben op beide transities. Daarbij is vaak eveneens een integrale benadering van belang. Bezien vanuit het Klimaatakkoord lijkt het erop dat een

kerninzicht van de analyse hier is dat de circulaire economie belangrijker wordt naarmate feedstocks en duaal verbruik relevanter zijn én dat een ketenbenadering een meerwaarde heeft als je broeikasgassen in de industrie, of breder, in materiaal- en productketens wilt reduceren. Enerzijds zal meer recycling en hergebruik zeker kunnen bijdragen aan schonere productie door het geringere verbruik van (in)directe fossiele energie. Door meer recycling en hergebruik kan het vuil-geproduceerde materiaal intensiever worden gebruikt. Maar vanzelfsprekend is dit potentieel geringer naarmate het bestaande recyclingpercentage hoger ligt, zoals het geval is bij aluminium, of is de kwaliteit van het ingezamelde materialen slechter. In de analyse is hiermee geen rekening gehouden.

Anderzijds stuiten bestaande procesverbeteringen vaak op grenzen, terwijl – zeker in de industrie – ook al het nodige energie- en klimaatbeleid wordt gevoerd om de broeikasgasemissies die met deze processen samenhangen te reduceren. Dat geldt bijvoorbeeld voor de CO₂-emissies bij grote installaties die onder het Europese emissiehandelssysteem vallen. Maar hier kan juist een integrale aanpak veelbelovender zijn (zie ook Ecofys 2018). Door een expliciete koppeling van de circulaire economie met de energietransitieagenda komen andere alternatieven in beeld, en treden mogelijk ongewenste bijeffecten van bestaand beleid scherper voor het voetlicht.

Voorbeeld 1: Betonproductie

Een eerste voorbeeld is de betonsector waar interessante opties bestaan om uiteindelijk zelfs tot negatieve broeikasgasemissies te komen. Beton bestaat uit cement, toeslagmaterialen (zand, grind), water, en hulpstoffen. Cementproductie leidt tot relatief hoge CO₂-emissies per ton als gevolg van de energiebehoefte van het productieproces. Daarbij wordt meer dan de helft van de emissies veroorzaakt door procesemissies, waarbij een koolstofhoudend product, meestal calciumcarbonaat ofwel kalksteen (mergel), wordt omgezet in een product, klinker, dat geen koolstof bevat.

De totale energieconsumptie van deze sector bedroeg in 2012 ongeveer 26 petajoule. In Nederland is de totale betonproductie rond 16 miljoen kubieke meter of 40 megaton. Ongeveer 37 procent daarvan wordt afgezet in de woningbouw en ruim 40 procent vindt zijn weg naar de utiliteitsbouw. De productie van beton gaat gepaard met 160 kilogram CO₂-emissie per kubieke meter, vrijwel geheel veroorzaakt door cement. De totale betonproductie staat dan voor een CO₂-emissie van 2,6 megaton, die, wegens de import van klinker en cement, slechts gedeeltelijk aan Nederland kan worden toegerekend.

Een alternatief hiervoor is de productie van 'groen beton' (Strengers et al. 2018). Groen beton kan op twee manieren tot negatieve CO₂-emissies leiden. Ten eerste kunnen enkele materialen gedurende de verwerkings-, gebruiks- en hergebruiksfase CO₂ uit de lucht opnemen. Een voorbeeld hiervan is het klinkergedeelte van cement dat vervangen kan worden door alternatieven als Solidia-cement, met olivijn als vervanger van zand. Verder kan grind worden vervangen door vliegashout uit AVI's dat eerst heeft gereageerd met CO₂ uit de lucht of afkomstig is van biomassa. Ten tweede kan organisch materiaal, zoals olifantsgras, worden gebruikt om een gedeelte van het grind te vervangen. Xirton is een verkrijgbare groene betonsoort waarin een aantal van deze opties is verwerkt. Daarnaast is het mogelijk om meer beton te recycleren dan nu het geval is.

Gemiddeld kan onder een aantal aannames in 2030 sprake zijn van een vastlegging van bijna 70 kilogram CO₂ per kubieke meter beton, wat neerkomt op 1,1 megaton op basis van de huidige betonproductie van 16 miljoen kubieke meter, en voor 2050 bijna 130 kilogram CO₂ per kubieke meter, wat leidt tot 2 megaton vastlegging. Hergebruik reduceert vooral de benodigde hoeveelheid cement. De kosten per vermeden ton CO₂ zijn zelfs negatief, zoals bij Solidia, oplopend tot circa 70 euro per ton bij toepassing van olifantsgras (Lieshout & Nusselder 2016).

Voorbeeld 2: Kunststofproductie

Een tweede voorbeeld is de basischemie waar interessante opties bestaan om het gebruik van aardolie te beperken (zie ook Ecofys 2018; Strengers et al. 2018). Kunststoffen worden in Nederland geproduceerd uit nafta, vervaardigd door de petrochemische industrie uit aardolie. Het gaat om een combinatie van C₂/C₃-moleculen (etheen, propaan), aromatische koolwaterstoffen (benzeen, xyleen) en moleculen bestaande uit koolwaterstoffen met bijvoorbeeld zuurstof, chloor of stikstof. Productie van kunststoffen leidt tot relatief hoge CO₂-emissies per ton vanwege de energiebehoefte van het productieproces (circa 1,5 ton CO₂ per ton product en bij de afvalfase waarbij het product wordt verbrand 3,3 ton CO₂ per ton product).

De totale energieconsumptie van deze sector bedroeg in 2015 ongeveer 800 petajoule. In Nederland is de totale kunststofproductie rond 6,6 megaton. Ongeveer 1,9 megaton (30 procent) daarvan wordt in Nederland toegepast, waarvan weer circa 0,9 megaton wordt hergebruikt (voornamelijk voor elektriciteit en warmteproductie in AVI's. Driekwart van de geproduceerde kunststoffen wordt gebruikt voor vier toepassingen: verpakkingsmateriaal (40 procent), de bouw (20 procent), de auto-industrie (8 procent) en de elektronica (6 procent).

Uit het perspectief van de circulaire economie zijn er enkele mogelijkheden om emissies te reduceren:

- 1) Chemisch hergebruik in plaats van mechanisch hergebruik: hierbij worden de moleculen door middel van pyrolyse (rendement 75 procent) afgebroken tot restanten die als alternatieve grondstof voor nafta kunnen worden ingezet. Hierbij wordt gemiddeld 30 gigajoule per ton product (46 procent) nuttig hergebruikt. Daarbij komt nog steeds circa 25 procent (0,8 ton CO₂ per ton product) vrij, en dat zou eventueel met CO₂-afvang en –opslag (CCS) kunnen worden afgevangen.
- 2) Gebruik van biomassa (pyrolyse van hout) of biodiesel als vervanging voor nafta: hierbij wordt circa 40 gigajoule per ton product (62 procent) fossiele brandstof (nafta) bespaard.
- 3) Inzet van 'groene' elektriciteit (0,7 ton CO₂ per ton product) en 'groen' gas (0,8 ton CO₂ per ton product).
- 4) Inzet van 'groene' *feedstock* en energieproductie om 'groene' methanol te produceren waaruit bijvoorbeeld etheen kan worden geproduceerd. Methanol kan worden verkregen door middel van waterstof uit electrolyse, en CO/CO₂ op basis van bijvoorbeeld hoogovengas, biomassa of directe onttrekking uit de lucht, waarmee circa 39 gigajoule per ton methanol kan worden verkregen. Bij uiteindelijke vervanging van fossiel etheen is een besparing van 1,5 tot 4,8 ton CO₂ per ton product te realiseren.
- 5) Verlenging van de levensduur van het product: als de levensduur met 50 procent kan worden verlengd, wordt een energie- en CO₂-reductie van 25 procent bereikt.
- 6) Opvoering van mechanisch hergebruik voor elektriciteit en warmteproductie in AVI's: per ton kunststof wordt gemiddeld 23 gigajoule per ton energie (35 procent) nuttig hergebruikt, CO₂-emissies kunnen worden gereduceerd indien de AVI's zijn uitgerust met CCS.

In totaal bevatten de grondstoffen voor de naftakrakers 33 megaton C (uitgedrukt als CO₂), waarvan circa 5,2 megaton wordt verbruikt in Nederland. Door een combinatie van bovenstaande maatregelen kan een substantieel deel van dit potentieel worden gerealiseerd. De transformatie van een chemische industrie die op fossiele brandstoffen is gebaseerd naar een ge-elektrificeerde productie (inclusief waterstof) met hoogwaardig hergebruik en duurzame (levensduur) productie kost echter wel tijd vanwege de lange investeringscyclus in de chemische industrie en de daarmee gemoeide enorme extra vraag naar elektriciteit. Tot 2050 zou de chemische industrie circa 800 petajoule aan elektriciteit nodig hebben, hetgeen ruim 55 gigawatt windenergie op de Noordzee vergt. In het Ecofys-rapport over de routekaart voor de chemische industrie in 2050 (Ecofys 2018) en in Strengers et al. (2018) worden overigens nog enkele alternatieven voor fossiele kunststofproductie besproken. Volgens de huidige inzichten variëren de kosten van 20 tot 300 euro per ton vermeden CO₂.

Er bestaan veelbelovende alternatieve technologische opties in de industrie die fors kunnen besparen op broeikasgassen of zelfs negatieve emissies met zich kunnen brengen (zie Strengers et al. 2018). Zoals eerder aangegeven, zijn bijvoorbeeld procesgeïntegreerde oplossingen in de industrie op basis van elektrolyse met windenergie in dit opzicht interessant. Daarbij wordt een fossiele grondstof (aardgas) vervangen door de hernieuwbare grondstof water en een op zichzelf schone energiebron voor de opwekking van elektriciteit. Naarmate het aandeel niet-fossiele opwekking hiervan groter is, neemt dus ook de besparing op broeikasgassen toe.

Wel zijn er de nodige complicaties. Zo is het evenzeer denkbaar dat alternatieve technologische opties voor fossiele energiedragers juist minder snel worden toegepast als bijvoorbeeld recyclen een relatief goedkope optie is om uitstoot te reduceren. Om de verschillende maatregelen en hun effecten goed in beeld te krijgen, is het daarom essentieel steeds beide domeinen tegelijkertijd goed in het oog te houden. Producenten zullen zelf wel beoordelen wat de meest efficiënte manier is om emissies te reduceren. Dit geldt ook voor 'extended producer responsibility': wanneer het aantrekkelijker wordt om broeikasgassen te reduceren door recycling, wordt het aantrekkelijker om componenten uit verkochte eindproducten weer in het bezit te krijgen of te houden. Het is van het grootste belang dat zowel bij de klimaattafels als bij de transitieagenda's goed wordt nagedacht over instrumentering van overheidsbeleid, dat wil zeggen belastingen, subsidies en regelgeving, die met deze complicaties rekening houdt.

5 Conclusie

De circulaire economie beoogt een vermindering van grondstoffen- en materiaalgebruik en het terugdringen van afval. Daardoor wordt ook de emissie van broeikasgassen gereduceerd, waarmee de circulaire economie ook bijdraagt aan de energietransitie. Volgens berekeningen in deze notitie wordt ruim 40 procent van het verbruik van fossiele energiedragers (zowel verbranding als grondstofverbruik) veroorzaakt binnen de materiaal- en productketens, het domein waarop de circulaire economie is gericht. Van de totale emissie van broeikasgassen in 2015 in Nederland gaat het om 19 procent als alleen rekening wordt gehouden met de directe emissies in de sectoren die relevant zijn voor de circulaire economie, en om 27 procent wanneer ook rekening wordt gehouden met de indirecte emissies die samenhangen met het verbruik van elektriciteit en raffinageproducten in de materiaal- en productketens. Daarmee kan de circulaire economie in potentie een belangrijke bijdrage leveren aan de reductie van broeikasgassen.

Het verbruik van fossiele energiedragers en de emissie van broeikasgassen in de materiaal- en productketens geven de overlap weer tussen de circulaire economie en de energietransitie. In hoeverre de circulaire economie kan bijdragen aan de energietransitie is afhankelijk van concrete maatregelen waarbij emissies daadwerkelijk kunnen worden gereduceerd. Wanneer bijvoorbeeld de broeikasgasemissies worden veroorzaakt door energieverbruik, zoals bij de verbranding van een fossiele brandstof, kan een andere energiebron worden gezocht. Maar wanneer, zoals bij chemische industrie, het duale gebruik van fossiele grondstof tot vervuiling leidt, dan zijn mogelijk radicalere procesaanpassingen nodig; in dit geval zou ook hergebruik van geproduceerde halffabricaten kunnen bijdragen aan de vermindering van broeikasgasemissies.

Een kerninzicht van deze analyse is dat de circulaire economie belangrijker wordt voor de energietransitie wanneer het veranderen van productietechnologieën lastiger is. Het is van belang dat in het kader van het Klimaatakkoord voldoende aandacht wordt gegeven aan de reductie van broeikasgasemissies via geïntegreerde proces- of ketenverbeteringen. Dit geldt nog sterker indien mogelijke maatregelen ook in de keten leiden tot emissiereductie in het buitenland. Hier is een integrale aanpak zinvol en ook mogelijk (zie ook Ecofys 2018). Door een expliciete koppeling van de circulaire economie aan de energietransitie komen dit soort alternatieven scherper voor het voetlicht. Voor zover er besparingsopties zijn via recycling dan wel procesgeïntegreerde oplossingen, lijken opties ten bate van de circulaire economie en van de energietransitie elkaar wederzijds te versterken. Dit geldt bijna altijd voor productieprocessen waar elektrificatie de plaats in kan nemen van warmte of kracht op basis van fossiele grondstof. Dit vraagt echter om een betere beprijzing van broeikasgassen, in het bijzonder koolstof als input van het economische proces (zie ook Vollebergh et al. 2017).

Tot slot is het nog van belang de beperkingen van deze analyse aan te geven. Zo is er geen rekening gehouden met de potentie van hergebruik van eindproducten, zoals meubels, kleding of wasmachines. Ook is niet gekeken naar kostenaspecten, en is voorbijgegaan aan diverse terugkoppelingen en mogelijk averechtse effecten van de circulaire economie op de klimaatopgave en vice versa. Zo kan hergebruik leiden tot uitstel van grootschalig gebruik van energie-efficiëntere apparaten (zoals bij industriële ketels of wasmachines in huishoudens) en de vervanging van fossiele energie door bijvoorbeeld hernieuwbaar, maar ook tot meer luchtvervuiling (bijvoorbeeld bij extra gebruik van biomassa) of extra vraag naar andere materialen (windmolens en batterijen). Een ander voorbeeld zijn auto's. Vanuit de energietransitie kan worden gedacht dat het verstandig is om zo snel mogelijk het huidige wagenpark te vervangen door elektrische auto's. Maar met het oog op de circulaire economie ligt het meer voor de hand zo lang mogelijk gebruik te maken van de huidige auto's. Doelmatig milieubeleid maakt een afweging tussen de potentiële milieuwinst van het sneller

vervangen van huidige onzuinige auto's en de extra milieukosten als gevolg van het produceren van de vervangende auto. De energietransitie zou hier dus rekening moeten houden met de argumenten die door de transitie in de circulaire economie worden aangedragen. Het coördineren van beide beleidsdomeinen met elkaar en andere beleidsdossiers – zoals luchtkwaliteit – moet averechtse effecten voorkomen.

Literatuur

Drissen, E. & H. Vollebergh (2018), *Monetaire milieuschade in Nederland in 2015*, Planbureau voor de Leefomgeving, Den Haag.

Ecofys (2018), *Chemistry for Climate – Roadmap for the Dutch Chemical Industry towards 2050*, Ecofys, Utrecht.

Koelemeijer, R., B. Daniëls, P. Koutstaal, G. Geilenkirchen, J. Ros, P. Boot, G.J. van den Born & M. van Schijndel (2018), *Kosten energie- en klimaattransitie in 2030 – update 2018*, Planbureau voor de Leefomgeving, Den Haag.

Ministerie van Infrastructuur en Milieu en Ministerie van Economische Zaken (2016), *Nederland Circulair in 2050. Rijksbreed programma Circulaire Economie*, <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/rapporten/2016/09/14/bijlage-1-nederland-circulair-in-2050>, Den Haag.

Ministerie van Economische Zaken en Klimaat (2018), *Kamerbrief over inzet kabinet inzake klimaatakkoord*, <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/kamerstukken/2018/02/23/kamerbrief-over-inzet-kabinet-voor-klimaatakkoord>, Den Haag.

Potting, J., M. Hekkert, E. Worrell & A. Hanemaaijer (2016), *Circulaire economie: Innovatie meten in de keten*, Planbureau voor de Leefomgeving, Den Haag.

Regeerakkoord (2017), *Vertrouwen in de toekomst. Regeerakkoord 2017 – 2021*, VVD, CDA, D66 en ChristenUnie, <https://www.kabinetsformatie2017.nl/documenten/publicaties/2017/10/10/regeerakkoord-vertrouwen-in-de-toekomst>, Den Haag.

Rietveld, E., H. Boonman, M. Chahim, T. Bastein & J. Hu (2018), *Effecten van het Rijksbrede programma Circulaire Economie en de transitieagenda's op de emissie van broeikasgassen*, TNO, Den Haag (in voorbereiding).

Schoots, K., M. Hekkenberg & P. Hammingh (2017), *Nationale Energieverkenning 2017*. ECN-O--17-018. Energieonderzoek Centrum Nederland, Petten.

Strengers, B., H. Eerens, W. Smeets, G-J. van den Born & J. Ros (2018), *Negatieve emissies – Technische potentieel en kosten voor Nederland*, Planbureau voor de Leefomgeving, Den Haag.

Tukker, A., E. Poliakov, R. Heijungs, T. Hawkins, F. Neuwahl, J.M. Rueda-Cantuche, S. Giljum, S. Moll, S., J. Oosterhaven & M. Bouwmeester (2009), 'Towards a Global Multi-Regional Environmentally Extended Input-Output Database', *Ecological Economics*, 68(7): 1928-1937.

Vollebergh, H., E. Drissen, H. Eerens & G. Geilenkirchen (2014), *Milieubelastingen en Groene Groei Deel II. Evaluatie van belastingen op energie in Nederland vanuit milieuperspectief*, Planbureau voor de Leefomgeving, Den Haag.

Vollebergh, H., J. Dijk, E. Drissen, H. Eerens & H. Vrijburg (2017), *Fiscale vergroening: belastingverschuiving van arbeid naar grondstoffen, materialen en afval*, Planbureau voor de Leefomgeving, Den Haag.